



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE VIANA DO CASTELO

Henrique Soutelo Meira

ESPECIFICIDADES DA FISCALIZAÇÃO DE OBRAS EM CONSTRUÇÃO METÁLICA

Mestrado em engenharia Civil e do Ambiente
Ramo – Construções Cíveis

Trabalho efectuado sob a orientação do
Professor Doutor Carlos Oliveira

e de coorientação da
Professora Doutora Cristina Madureira dos Reis

Março de 2018



ESPECIFICIDADES DA FISCALIZAÇÃO DE OBRAS EM CONSTRUÇÃO METÁLICA

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL E DO AMBIENTE
DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE

Henrique Soutelo Meira
Instituto Politécnico de Viana do Castelo

Orientador: Prof. Dr. Carlos Oliveira (IPVC)
Coorientadora: Professora Doutora Cristina Madureira dos Reis (UTAD)



Especificidades da Fiscalização de Obras em Construção Metálica



Agradecimentos

Uma tese de mestrado, apesar do trabalho solitário a que qualquer mestrando está destinado, não seria possível sem o contributo indispensável de diversas pessoas.

Em primeiro lugar, agradeço ao meu orientador, Professor Doutor Carlos Oliveira pela orientação, apoio e motivação transmitida.

A minha coorientadora Professora Doutora Cristina Reis pela disponibilidade e tempo dispensado na concretização deste trabalho.

O meu agradecimento á empresa Metaloviana, S.A. em especial aos meus colegas Engenheiro Gabriel Correia, Engenheiro José Barros, Engenheiro João Silva, Engenheiro Júlio Barbosa, á Engenheira Anabela Esteves e ao Engenheiro de Soldadura Rafael Temporão pelo apoio e conhecimento transmitido, e também pela disponibilidade indispensáveis para a concretização deste trabalho.

Um agradecimento também á minha namorada Cláudia ao Sr. José Pina e a D. Gina, que também foram pessoas que exerceram um papel muito importante para a execução desta dissertação.

Quero dedicar este trabalho aos meus pais Henrique Afonso Morais Meira e Ludovina Meira, ao meu filho, Rodrigo Meira aos meus irmãos Rui e Miguel, por nunca terem desistido de mim, por todo o amor e apoio que deram, sem eles não teria sido possível.



Especificidades da Fiscalização de Obras em Construção Metálica



Resumo

As construções metálicas, são nos dias de hoje uma solução para diversos tipos de estruturas, desde de uma simples pala até a ponte mais complexa.

Ao mesmo tempo que as técnicas de fabrico e montagem de estruturas metálicas evoluíram, desenvolveram-se também exigências de fiscalização e controlo da execução destas estruturas com o objetivo de um produto final aprimorado.

O objetivo deste trabalho é cruzar estes dois vetores, e estabelecer um contributo nos procedimentos de fiscalização da execução de estruturas metálicas, mais focado no controlo de conformidade aplicado ao processo construtivo.

Neste trabalho começa-se por contextualizar as estruturas metálicas face ao cenário normativo atual e sua evolução, tentando de seguida dar um contributo nos procedimentos para ajudar um diretor de obra a executar o seu trabalho corretamente.

Atualmente a atividade da fiscalização de obra extrapola esta dimensão, através de mecanismos de atuação preventiva que tornam esta necessidade de executar ações corretivas sobre trabalhos executados que apresentem deficiências.

A melhor forma de aplicar este sistema preventivo é através de check-lists, para cada uma das atividades a executar durante o processo construtivo, de modo a que o técnico fiscal possua, não só elementos fiáveis e parametrizados de inspeção e ensaio, mas também tecnicamente abrangentes, que lhe permitam conquistar o domínio técnico das tarefas e o respeito da entidade executante. A geração destes elementos, designada por fichas de controlo de conformidade, exige um conhecimento profundo dos processos construtivos e uma análise cuidada dos elementos produzidos pelo projetista.

Com o presente trabalho, tenta-se criar um documento de aplicabilidade prática, tendo como principal objetivo ajudar os vários intervenientes do setor da construção metálica.

PALAVRAS-CHAVE: Construção Metálica, Fabrico, Qualidade, Direção de Obra, Metalomecânica, Inspeção



Especificidades da Fiscalização de Obras em Construção Metálica



Abstract

The present work was developed in the field of the final master's degree course in Civil Engineering and Environment, in the Civil Construction sector. My main objective was to develop my knowledge in the area of Steel Construction and Construction Management, while the technical team, responsible for part of studies and proposals, of the company Metaloviana, S.A.

The steel construction are nowadays a solution for different kind of construction, you can build a simple frame to very complex bridge.

At same time as the fabrication and mounting methods, for steel construction evolved, developed as well the requirements of oversight and control of execution of these structures with the main goal to get a final quality product.

The objective of this work is to cross this two vectors and establish a manual of procedures for monitoring the implementation of steel structures.

In this work I begin with the contextualization of steel structures against the current normative scenario and his evolution, with the main goal to do a manual of procedures for monitoring the implementation of steel structures, to help a Site engineer to do is work correctly.

This work is not a scientific investigation, but is a document with practical applicability and is main objective is to help every intervenient of steel construction.

Keywords

Metallic Structures, Steel Structures, Quality, Inspection, Site Engineer, Steel Construction and Construction Management



Especificidades da Fiscalização de Obras em Construção Metálica



Índice

| | |
|--|-----------|
| Agradecimentos | i |
| Resumo | iii |
| Abstract | v |
| Lista de Figuras | xi |
| Lista das Tabelas | xv |
| Siglas e Abreviaturas | xvi |
| 1. Introdução | 1 |
| 1.1 Enquadramento Geral | 1 |
| 1.2 Objetivos e Metodologia | 1 |
| 1.3 Enquadramento da Dissertação | 2 |
| 1.4 Estrutura da Dissertação | 3 |
| 2. Construção Metálica | 5 |
| 2.1 História dos Metais | 5 |
| 2.2 Aço na Construção e sua Aplicação | 7 |
| 2.3 Sustentabilidade da Construção de Estruturas Metálicas | 11 |
| 3. Fiscalização de Obras de Estruturas Metálicas | 15 |
| 3.1 Enquadramento Geral | 15 |
| 3.2 Intervenientes no Processo Construtivo | 15 |
| 3.3 Funções da Fiscalização | 16 |
| 3.4 Legislação Aplicável | 16 |
| 3.5 Qualidade | 17 |
| 3.5.1 Definição | 17 |
| 3.5.2 Sistema Português de Qualidade | 18 |
| 3.5.3 Regulamentação de Estruturas e Elementos Metálicos | 20 |
| 3.5.4 Marcação CE | 21 |
| 3.5.5 Normas ISO | 28 |
| 4. Processos Gerais de Produção de Estruturas Metálicas | 30 |
| 4.1 Tipos de Aços Estruturais | 30 |
| 4.2 Tipos de Perfis Metálicos | 31 |
| 4.2.1 Perfis Laminados | 32 |
| 4.2.2 Perfis Enformados a Frio | 33 |
| 4.2.3 Perfis Reconstituídos Soldados (PRS) | 33 |



Especificidades da Fiscalização de Obras em Construção Metálica

| | | |
|---------|---|----|
| 4.2.4 | Perfis Tubulares | 34 |
| 4.3 | Corte | 34 |
| 4.3.1 | Guilhotina | 35 |
| 4.3.2 | Prensa de Corte | 36 |
| 4.3.3 | Serrote | 37 |
| 4.3.4 | Plasma, Oxicorte e Laser | 37 |
| 4.4 | Furação | 40 |
| 4.5 | Ligações | 42 |
| 4.5.1 | Ligações Soldadas | 42 |
| 4.5.1.1 | Simbologia e Preparação de Juntas Soldadas | 46 |
| 4.5.1.2 | Ensaio e Defeitos de Soldaduras | 53 |
| 4.5.1.3 | Recomendações para Execução de Soldaduras | 61 |
| 4.5.2 | Ligações aparafusadas | 63 |
| 4.5.2.1 | Parafusos e Execução das Ligações Aparafusadas | 64 |
| 4.6 | Expedição e Transporte | 67 |
| 4.7 | Tratamento de Superfície e Sistemas de Proteção | 69 |
| 4.7.1 | Corrosão | 69 |
| 4.7.2 | Classificação de Ambientes de Corrosividade Atmosférica | 71 |
| 4.7.3 | Decapagem | 73 |
| 4.7.3.1 | Decapagem Manual | 74 |
| 4.7.3.2 | Decapagem com Jato Abrasivo | 74 |
| 4.7.3.3 | Graus de Limpeza Superficial | 76 |
| 4.7.4 | Revestimentos de Proteção | 77 |
| 4.7.4.1 | Revestimentos Metálicos | 78 |
| 4.7.4.2 | Pintura | 79 |
| 4.7.4.3 | Seleção de Revestimento de Proteção | 81 |
| 4.7.5 | Proteção ao Fogo | 82 |
| 4.8 | Tipos de Defeitos na Pintura | 87 |
| 4.8.1 | Apresentam-se a baixo defeitos a curto prazo (Esteves, 2012): | 88 |
| 4.8.1.1 | Bolhas – empolamento (blistering) | 88 |
| 4.8.1.2 | Cabeça de alfinete (pinholding) | 89 |
| 4.8.1.3 | Crateras (crates) | 90 |



| | |
|---|------------|
| 4.8.1.4 Enrugamento (wrinkling) – levantamento | 90 |
| 4.8.1.5 Escorrimento – descaimento (sag) | 91 |
| 4.8.1.6 Espessura irregular (por falta ou excesso) | 92 |
| 4.8.1.7 Exfoliação / descamação – perda de aderência (flaking) | 92 |
| 4.8.1.8 Casca de laranja | 93 |
| 4.8.1.9 Flutuação de pigmentos | 94 |
| 4.8.1.10 Impregnação de abrasivo e/ou de materiais estranhos | 94 |
| 4.8.1.11 Inclusão de Pelos..... | 95 |
| 4.8.1.12 Marcas da trincha..... | 96 |
| 4.8.1.13 Mancha química..... | 96 |
| 4.8.1.14 Pulverização seca ou deficiente (over spray)..... | 97 |
| 4.8.1.15 Sangramento | 98 |
| 4.8.2 Apresentam-se a baixo defeitos a longo prazo (Esteves, 2012): | 99 |
| 4.8.2.1 Empolamento, pulverulência ou gizamento (chalking) | 99 |
| 4.8.2.2 Pintura queimada / manchas químicas | 99 |
| 4.8.2.3 Fissuração ou Fendilhamento (cracking and checking)..... | 100 |
| 4.8.2.4 Corrosão – oxidação | 101 |
| 4.9 Montagem..... | 101 |
| 5. Controlo de Produção de Estruturas Metálicas..... | 105 |
| 5.1 Da Fase de Fabrico à Montagem..... | 105 |
| 5.2 Plano de Controlo de Conformidade..... | 108 |
| 5.3 Registo de Controlo de Conformidade..... | 109 |
| 5.4 Registo de Controlo e Correção de Não Conformidade..... | 109 |
| 6. Caso de Estudo..... | 110 |
| 6.1 Caracterização da Obra | 110 |
| 6.2 Metodologia Aplicada..... | 115 |
| 6.3 Apresentação e Análise de Resultados..... | 118 |
| 6.3.1 Receção e verificação de documentação | 118 |
| 6.3.2 Fabrico | 119 |
| 6.3.3 Tratamento de superfície | 124 |
| 6.3.4 Expedição e transporte..... | 127 |
| 6.3.5 Montagem..... | 128 |



Especificidades da Fiscalização de Obras em Construção Metálica

| | | |
|-----------|-------------------------------|------------|
| 6.3.6 | Manutenção e Limpeza..... | 131 |
| 7. | Conclusões | 133 |
| 7.1 | Conclusões Gerais | 133 |
| 7.2 | Desenvolvimentos futuros..... | 134 |
| | Bibliografia | 135 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Fig. 1 - Evolução cronológica das eras dos metais (Ducassé, 1962) | 5 |
| Fig. 2 - Forja Catalã (Siderurgia, 2007) | 6 |
| Fig. 3 - Ponte de Coalbrookdale (htt)..... | 8 |
| Fig. 4 - Exemplo de um alto-forno atual (Metalurgia, 2010)..... | 9 |
| Fig. 5 - Fabrico do aço atualmente (Montinni, 2012) | 10 |
| Fig. 6 - Impactos ambientais (Gervásio, 2017)..... | 12 |
| Fig. 7 - Energia primária consumida por processo (Gervásio, 2017) | 12 |
| Fig. 8 - Consumos de energia e emissões de Co ₂ na EU de 1970 a 2000 (Gervásio, 2017)..... | 13 |
| Fig. 9 - Logótipo IPAC (Qualidade I. -I.) | 19 |
| Fig. 10 - Organograma do Sistema Português de Qualidade | 20 |
| Fig. 11 - Regulamentação essencial de estruturas metálicas (Mista, 2012)..... | 22 |
| Fig. 12 - Condições a verificar NP EN 1090 (Mista, 2012) | 24 |
| Fig. 13 - Como requerer para ser certificado (Mista, 2012) | 25 |
| Fig. 14 - Marcação CE de Viga de Aço Soldada (Silvestre, 2012) | 27 |
| Fig. 15 - Marcação CE (Qualidade I. P., Sistema Português da Qualidade, 2017) | 28 |
| Fig. 16 - Designação dos Aços (Mascarenhas, 2007) | 31 |
| Fig. 17 - Laminação de perfis (Metalica, 2017)..... | 32 |
| Fig. 18 - Tipos de secção transversal de perfis laminados (Metalica, 2017) | 32 |
| Fig. 19 - Exemplos de aplicações de perfis enformados a frio (Pinto, 2010) | 33 |
| Fig. 20 – Perfis PRS (arquivo pessoal) | 33 |
| Fig. 21 - PerfisTubulares (Metalica, 2017) | 34 |
| Fig. 22 - Guilhotina. (arquivo pessoal) | 35 |
| Fig. 23 - Superfície de uma peça cortada em guilhotina..... | 36 |
| Fig. 24 - Prensa de Corte (arquivo pessoal)..... | 36 |
| Fig. 25 - Serrote de fita vertical, marca Kaltenbach (arquivo pessoal)..... | 37 |
| Fig. 26 - Máquina de Oxicorte (arquivo pessoal) | 38 |
| Fig. 27 - Máquina de corte de Plasma (arquivo pessoal)..... | 39 |
| Fig. 28 - Máquina corte de Laser (arquivo pessoal) | 40 |
| Fig. 29 - Linha automática de furação (arquivo pessoal)..... | 42 |
| Fig. 30 -a) Soldadura no estado sólido; b) Soldadura por fusão. (Modenesi, 2012) | 43 |
| Fig. 31–A) Processo Eléctrodo Revestido (Modenesi, 2012)B) Soldadura Eléctrodo Revestido.... | 44 |
| Fig. 32 - A) Processo MIG-MAG (Modenesi, 2012)B) Soldadura MIG-MAG (arq. Pessoal) | 45 |
| Fig. 33 - Processo TIG (Modenesi, 2012) B) Soldadura TIG (Arq. Pessoal)..... | 45 |
| Fig. 34 - Processo Arco Submerso (Modenesi, 2012) B) Soldadura por Arco Submerso (Arq. pessoal) | 46 |
| Fig. 35 - Representação esquemática de uma junta soldada e respetiva nomenclatura. (Silva F. J., 2016) | 47 |
| Fig. 36 - Tipos de Juntas de Soldaduras (Silva F. J., 2016)..... | 48 |
| Fig. 37 - Nomenclatura relacionada com a geometria dos cordões de soldadura (Silva F. J., 2016) | 49 |

| | |
|--|----|
| Fig. 38 - Representação das dimensões do cordão de soldadura segundo a norma ISO 2553 e AWS (z- Cateto da soldadura, a- altura da soldadura e s- soldadura + penetração) (Silva F. J., 2016). | 50 |
| Fig. 39 - Representação completa (Silva F. J., 2016) | 51 |
| Fig. 40 - Representação Esquemática e Teórica da simbologia Segundo a norma ISO 2553 (Silva F. J., 2016) | 52 |
| Fig. 41 - Representação da simbologia correspondente a uma soldadura de canto, comparando as normas ISO 2553 e AWS. (Silva F. J., 2016). | 52 |
| Fig. 42 - Representação Esquemática e teórica da simbologia Segundo a Norma AWS. (Silva F. J., 2016). | 52 |
| Fig. 43 - Ações a desenvolver durante a avaliação da qualidade na construção soldada (Silva F. J., 2016) | 54 |
| Fig. 44 - Informação necessária para garantir a qualidade da soldadura. (Mista, 2012) | 54 |
| Fig. 45 - Equipamentos utilizados na inspeção visual de soldaduras (Pereira, 2016) | 57 |
| Fig. 46 - Etapas de controlo Não Destrutivo (Mista, 2012). | 58 |
| Fig. 47 - Principais causas para o aparecimento de defeitos de soldadura (Clifford, 2006). | 59 |
| Fig. 48 - Principais defeitos de soldadura (Mista, 2012) | 60 |
| Fig. 49 - Forma dos cordões de soldadura em função dos erros de regulação eventualmente cometidos sobre cada um dos parâmetros de soldadura no processo de Eléctrodo revestido (Silva F. J., 2016) | 60 |
| Fig. 50 - Influência do desvio isolado de determinados parâmetros no aspeto dos cordões de soldadura no processo MAG (Silva F. J., 2016) | 61 |
| Fig. 51 - Tipos de ligações aparafusadas mais usuais em estruturas metálicas (Martins, 2008) | 63 |
| Fig. 52 - Parafusos com anilhas especiais (Martins, 2008). | 64 |
| Fig. 53 - Exemplo de uma chave dinamométrica. | 67 |
| Fig. 54 - Expedição de alguns elementos metálicos para obra (arquivo pessoal) | 69 |
| Fig. 55 - Cabine e passadiço de decapagem a jato abrasivo (arquivo pessoal) | 75 |
| Fig. 56 - Fotografias de padrão fotográfico para determinação do grau de limpeza superficial (8501). | 77 |
| Fig. 57 - Esquema de pintura (Rodrigues, 2010) | 79 |
| Fig. 58 - Diagrama de tensão-extensão do Aço a Alta temperatura (Standardization, 2014). | 82 |
| Fig. 59 - Exemplo de estrutura de Aço e madeira após um incêndio | 83 |
| Fig. 60 - Vigas que sofreram encurvadura local (Pereira, 2016) | 84 |
| Fig. 61 - Gesso - Proteção passiva (Nanosteel, 2012). | 85 |
| Fig. 62 - Reação da tinta intumescente ao calor (Jr, 2015). | 86 |
| Fig. 63 - Reação da pintura intumescente em perfis metálicos (Jr, 2015) | 86 |
| Fig. 64 - Argamassa Projetada (Nanosteel, 2012) | 87 |
| Fig. 65 - Exemplo de defeito de pintura (empolamento) (Metaloviana, 2014). | 88 |
| Fig. 66 - Exemplo de defeito de pintura (cabeça de alfinete) (Metaloviana, 2014). | 89 |
| Fig. 67 - Exemplo de defeito de pintura (crateras) (Metaloviana, 2014) | 90 |
| Fig. 68 - Exemplo de defeito de pintura (enrugamento) (Metaloviana, 2014). | 90 |
| Fig. 69 - Exemplo de defeito de pintura (escorrimento) (Metaloviana, 2014). | 91 |
| Fig. 70 - Exemplo de defeito de pintura (espessura irregular) (Metaloviana, 2014) | 92 |
| Fig. 71 - Exemplo de defeito de pintura (exfoliação / descamação) (Metaloviana, 2014) | 92 |



| | |
|--|-----|
| Fig. 72 – Exemplo de defeito de pintura (casca de laranja) (Metaloviana, 2014) | 93 |
| Fig. 73 – Exemplo de defeito de pintura (flutuação de pigmentos) (Metaloviana, 2014) | 94 |
| Fig. 74 – Exemplo de defeito de pintura (impregnação de abrasivo) (Metaloviana, 2014) | 94 |
| Fig. 75 – Exemplo de defeito de pintura (inclusão de pelos) (Metaloviana, 2014) | 95 |
| Fig. 76 – Exemplo de defeito de pintura (marcas de trincha) (Metaloviana, 2014) | 96 |
| Fig. 77 – Exemplo de defeito de pintura (mancha química) (Metaloviana, 2014) | 96 |
| Fig. 78 – Exemplo de defeito de pintura (Metaloviana, 2014) | 97 |
| Fig. 79 – Exemplo de defeito de pintura (sangramento) (Metaloviana, 2014) | 98 |
| Fig. 80 – Exemplo de defeito de pintura (empolamento) (Metaloviana, 2014) | 99 |
| Fig. 81 – Exemplo de defeito de pintura (pintura queimada) (Metaloviana, 2014) | 99 |
| Fig. 82 – Exemplo de defeito de pintura (fissuração ou fendimento) (Metaloviana, 2014) | 100 |
| Fig. 83 – Exemplo de defeito de pintura (oxidação) (Metaloviana, 2014) | 101 |
| Fig. 84 - Exemplo de chumbadouro do tipo após cura do betão | 103 |
| Fig. 85 - Montagem de estruturas metálicas na Probiomass (arquivo pessoal) | 104 |
| Fig. 86 - Fases do processo de fabrico à montagem | 105 |
| Fig. 87 - Fluxograma geral do processo de fiscalização de estruturas metálicas (Claro, 2009). .. | 107 |
| Fig. 88 – Localização do local de Implantação da central de biomassa (Jesus, 2017) | 110 |
| Fig. 89 – Implantação da central de Biomassa (Jesus, 2017) | 111 |
| Fig. 90 – Desenho em alçado do projeto de execução da central de biomassa (Schug, 2016) ... | 112 |
| Fig. 91– Desenho em alçado do projeto de execução da central de biomassa (Schug, 2016) | 113 |
| Fig. 92 - Planeamento de produção | 113 |
| Fig. 93 – Modelação 3D em Tekla Structures da estrutura Condensadores (Araujo, 2017) | 114 |
| Fig. 94 - A) Modelo 3D de um chumbadouro B) Modelação 3D escada (Araujo, 2017) | 114 |
| Fig. 95 - Exemplo do plano de controlo da qualidade SLCB (não assinado) (Shuangliang Clyde Berger GmbH, 2016) | 115 |
| Fig. 96 – Exemplo de tabela de controlo da receção de perfis metálicos (Metaloviana, S.A., 2016) | 116 |
| Fig. 97 – Exemplo do plano de inspeção e ensaio relativamente á parte de receção dos materiais (Metaloviana, S.A., 2016) | 117 |
| Fig. 98 – Organograma de metodologia aplicada na fiscalização da execução da estrutura metálica da central de biomassa | 117 |
| Fig. 99 – Documentação verificada e aprovada na receção dos materiais (Shuangliang Clyde Berger GmbH, 2016) | 118 |
| Fig. 100 – Medição do ângulo de chanfro para posterior soldagem (arquivo pessoal) | 119 |
| Fig. 101 – Medição do cateto de soldadura (arquivo pessoal) | 120 |
| Fig. 102 – Representação Esquemática Cateto de soldadura (Silva F. J., 2016) | 120 |
| Fig. 103 – Rastreabilidade de Soldaduras (Metaloviana, S.A., 2015) | 121 |
| Fig. 104 – Ensaio não destrutivo de soldadura através de líquidos penetrantes (arquivo pessoal) | 121 |
| Fig. 105 – Exemplo de Kit de Ensaio de Líquidos Penetrantes (Alusolda, 2017) | 122 |
| Fig. 106– Ensaio Não Destrutivo de Soldadura através de UT (arquivo pessoal) | 122 |
| Fig. 107 – Metodologia de Funcionamento do END por UT (Santos, 2015) | 123 |
| Fig. 108 – Ensaio Não Destrutivo de Soldadura através de Radiografia (arquivo pessoal) | 123 |



| | |
|---|-----|
| Fig. 109 – Exemplo de Ensaio Não Destrutivo Efetuado por uma empresa exterior á Metaloviana (Energest, 2017)..... | 124 |
| Fig. 110 - Documentação verificada e aprovada na etapa do fabrico (Shuangliang Clyde Berger Gmbh, 2016)..... | 124 |
| Fig. 111 – Ensaio de Controlo Dimensional de Tratamento de Superfície (arquivo pessoal).... | 125 |
| Fig. 112 – Exemplo de Certificado de Elemento Metálico (Metalgalva, 2017)..... | 126 |
| Fig. 113 – Documentação verificada e aprovada na etapa de tratamento de superfície (Shuangliang Clyde Berger Gmbh, 2016)..... | 126 |
| Fig. 114 – Receção em obra de alguns elementos de estrutura metálica (arquivo pessoal) | 127 |
| Fig. 115 – Exemplo do mapa de controlo de obra ao rececionar o material (Metaloviana, S.A., 2017) | 128 |
| Fig. 116 - Documentação verificada e aprovada na etapa de expedição e transporte (Shuangliang Clyde Berger Gmbh, 2016)..... | 128 |
| Fig. 117 – Exemplo do mapa de controlo de obra relativamente á parte dos chumbadouros e ancoragens (Metaloviana, S.A., 2017)..... | 129 |
| Fig. 118 – Chave de Impacto (Makita, 2017) | 129 |
| Fig. 119 – Verificação Momento de Aperto (arquivo pessoal) | 130 |
| Fig. 120 - Exemplo do mapa de controlo de obra relativamente á parte da montagem e das ligações (Metaloviana, S.A., 2017)..... | 130 |
| Fig. 121 - Exemplo do mapa de controlo de obra relativamente á parte do final da montagem (Metaloviana, S.A., 2017)..... | 131 |
| Fig. 122 - Exemplo de uma parte do plano de manutenção e limpeza (Metaloviana, S.A., 2017) | 132 |
| Fig. 123 - Foto da Estrutura dos Condensadores em Fase Final (arquivo pessoal)..... | 132 |



Índice de Tabelas

| | |
|---|-----|
| Tabela 1 – Subdivisões dos aços em grupos em função do teor de carbono (Colaço, 2016) | 11 |
| Tabela 2 – Matriz de definição da classe de Execução (Qualidade I. -I.)..... | 26 |
| Tabela 3 – Valores nominais da tensão de cedência F_y e da tensão de rotura F_u para aços correntes de acordo com EN 10025-2 (Qualidade I. P., NP EN 10025, 2004) | 30 |
| Tabela 4 – Composição química a que tem de obedecer os aços correntes de acordo com a EN 10025-2 (Qualidade I. P., NP EN 10025, 2004) | 31 |
| Tabela 5 – Descrição dos processos de soldadura por fusão (Modenesi, 2012)..... | 43 |
| Tabela 6 – Quadro comparativo de juntas soldadas..... | 48 |
| Tabela 7 – Ensaio não destrutivo de soldadura (Modenesi, 2012) | 55 |
| Tabela 8 – Diâmetros mais usuais de parafusos para estruturas metálicas (Martins, 2008)..... | 64 |
| Tabela 9 – Classificação das categorias de corrosividade atmosférica segundo a EN ISO 12944-2 (NP EN ISO 12944, 1999) | 72 |
| Tabela 10 – Categorias para estruturas imersas ou enterradas Segundo ISO 12944 (NP EN ISO 12944, 1999) | 73 |
| Tabela 11 – Quadro comparativo de sistemas de Proteção (António Lamas, 2001) | 81 |
| Tabela 12 – Defeitos de pintura do tipo bolhas /empolamento | 89 |
| Tabela 13 – Defeitos de pintura do tipo cabeça de alfinete | 89 |
| Tabela 14 - Defeitos de pintura do tipo | 90 |
| Tabela 15 - Defeitos de pintura do tipo enrugamento..... | 91 |
| Tabela 16 - Defeitos de pintura do tipo escorrimento..... | 91 |
| Tabela 17 - Defeitos de pintura do tipo espessura irregular | 92 |
| Tabela 18 - Defeitos de pintura do tipo exfoliação..... | 93 |
| Tabela 19 - Defeitos de pintura do tipo casca de laranja | 94 |
| Tabela 20 - Defeitos de pintura do tipo Flutuação de pigmentos | 94 |
| Tabela 21 - Defeitos de pintura do tipo impregnação de abrasivos | 95 |
| Tabela 22 - Defeitos de pintura do tipo Inclusão de pelos..... | 95 |
| Tabela 23 - Defeitos de pintura do tipo marcas de trincha | 96 |
| Tabela 24 - Defeitos de pintura do tipo mancha química | 97 |
| Tabela 25 - Defeitos de pintura do tipo over spray..... | 97 |
| Tabela 26 - Defeitos de pintura do tipo sangramento | 98 |
| Tabela 27 - Defeitos de pintura do tipo empolamento..... | 99 |
| Tabela 28 - Defeitos de pintura do tipo pintura queimada..... | 100 |
| Tabela 29 - Defeitos de pintura do tipo fissuração | 100 |
| Tabela 30 - Defeitos de pintura do tipo corrosão..... | 101 |
| Tabela 31 – Elementos intervenientes no processo construtivo | 112 |



Siglas e Abreviaturas

AISI – American Iron Steel Institute
AWS – American Welding Society
BIM – Building Information Modeling
CHS – Circle Hollow Section
CNC – Controlo Numérico Computorizado
ED – Ensaio Destrutivo
EEE – Espaço Económico Europeu
EN – European Norm (Norma Europeia)
END – Ensaio Não Destrutivo
EPS – Especificação Processo de Soldadura
FCC – Ficha de Controlo de Conformidade
FCCNC – Ficha de Controlo de Não Conformidade
GHG – Greenhouse Gases
IPQ – Instituto Português da Qualidade
ISO – Internacional Organization of Standardization
MAG – Metal Active Gas
NP – Norma Portuguesa
OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
PIE – Plano de Inspeção e Ensaio
PRS – Perfis Reconstruídos Soldados
RET – Relatório de Especificação Técnica
RHS – Rectangle Hollow Section
RT - Radiografia
SAS – Soldadura por Arco Submerso
SER – Soldadura por Eléctrodo Revestido
SGQ – Sistema de Gestão da Qualidade



SHS – Square Hollow Section

SLCB – Shuangliang Clyde Bergemann

TC – Temperatura Crítica

TIG – Gás Inerte

UT – Ultra Sons

WP – Welding Plan (Plano de Soldadura)

WPS – Welding Procedure Specifications



Especificidades da Fiscalização de Obras em Construção Metálica

1. Introdução

1.1 Enquadramento Geral

O setor da construção metálica nacional revela, nos últimos anos, um crescimento sustentado contrariando a estagnação vivida no setor da construção tradicional, centrada no betão. Apesar de neste ultimo ano ter havido um aumento significativo na construção civil nacional.

Sendo hoje em dia, uma solução recorrente para a construção de diversos tipos de estruturas, cujos domínios de aplicação abrangem, a título exemplificativo, desde a simples cobertura até ao edifício, ponte, aeroporto ou recinto desportivo mais complexos. São, portanto uma referência a nível mundial, tanto pela capacidade produtiva, como pela competência técnica na construção de obras de referência arquitetónica e de engenharia nos mais diversos países.

A Associação Portuguesa de Construção Metálica e Mista (CMM) revelou que este segmento registou nos últimos anos um crescimento anual dos valores de exportações “superior a 20% ao ano”.

Constituindo-se cada vez mais como uma solução que permite ao setor da construção fazer a transição de uma indústria tradicional e artesanal para uma atividade industrializada, com os consequentes ganhos de competitividade e qualidade.

Fatores como a facilidade e a rapidez de execução, a flexibilidade e a facilidade de alteração, o menor impacto ambiental deste tipo de soluções, bem como a significativa redução do peso total da estrutura definem cada vez mais a construção metálica como uma solução do futuro. O aço é um material totalmente reciclável, ao contrário do betão, diminuindo brutalmente os custos e em termos de sustentabilidade é uma excelente opção.

1.2 Objetivos e Metodologia

O presente trabalho visou conferir, aprofundar e desenvolver competências práticas e técnicas do engenheiro estagiário, com o desempenho de funções relacionadas com projeto, preparação, fabrico, execução, gestão de obras e produção, funções desempenhadas normalmente por um diretor de obra, no subsector da construção, que é a construção metálica.

Em paralelo com a evolução das técnicas de fabrico e montagem de estruturas metálicas, desenvolveu-se uma busca pelas exigências de fiscalização e controlo da execução destas, orientada para a obtenção de um produto final de qualidade.

O objetivo deste trabalho foca-se num contributo aos procedimentos, de utilidade para um diretor de obra, que ajude a fiscalizar o processo de execução de estruturas metálicas, materializando-se num plano de controlo de conformidade aplicável desde a fábrica, ou metalomecânica, até a obra.

Será também alvo de análise, o cenário normativo das estruturas metálicas, centrando a sua especificidade e importância, visando fornecer contribuições para a melhoria da qualidade dos procedimentos de execução e fiscalização.

Este trabalho é um documento com informação compacta, de aplicabilidade prática, que espera poder vir a ajudar intervenientes do setor da construção metálica.

1.3 Enquadramento da Dissertação

A importância atualmente atribuída ao cumprimento de prazos e de custos nas empreitadas públicas e privadas, e à verificação da garantia de qualidade do produto final a rececionar pelo cliente, tem conduzido a um forte desenvolvimento dos mecanismos de controlo das atividades a empreender em obra.

As exigências a verificar induzem a que o controlo surja desde logo nas primeiras etapas do processo produtivo, procurando-se que o adjudicatário, também vulgarmente designado por empreiteiro ou construtor, submeta à aprovação da entidade fiscalizadora descrições pormenorizadas da forma como se propõe executar os trabalhos. Estas devem contemplar uma calendarização rigorosa das atividades, com indicação dos pontos críticos associados, bem como uma correta previsão da mão-de-obra, equipamentos e materiais a afetar às mesmas.

Paralelamente, verifica-se também uma forte preocupação com questões relativas ao ambiente e com a segurança e a saúde no trabalho, que exigem um maior conhecimento e acompanhamento por parte de técnicos. Este papel, que outrora foi atribuído aos técnicos fiscais de obra, é agora da responsabilidade de técnicos de segurança e de ambiente visto possuírem formação específica para tal, não deixando os fiscais de terreno de estarem atentos a situações que lhes pareçam não conformes e de as comunicarem a estes técnicos.

Neste contexto de exigências e complexidade crescentes a atividades de fiscalização de obras desempenha papel de destaque, podendo apenas as empresas que se apresentarem melhor preparadas e com capacidade de antecipação dos desafios futuros estar à altura de gerir adequadamente as naturais expectativas do dono de obra, também vulgarmente designado por promotor.

O papel da fiscalização de obras públicas, consagrado no Decreto-Lei nº 278/2009, estipula que esta entidade vigie e verifique o exato cumprimento por parte do empreiteiro dos requisitos contratualmente estabelecidos pelo dono de obra. No entanto, atualmente a atividade da fiscalização de obra extrapola esta dimensão, através de mecanismos de atuação preventiva que tornam esta necessidade de executar ações corretivas sobre trabalhos executados que apresentem deficiências.

A melhor forma de aplicar este sistema preventivo é através de check-lists, para cada uma das atividades a executar durante o processo construtivo, de modo a que o técnico fiscal possua, não só elementos fiáveis e parametrizados de inspeção e ensaio, mas também tecnicamente

abrangentes, que lhe permitam conquistar o domínio técnico das tarefas e o respeito da entidade executante. A geração destes elementos, designada por fichas de controlo de conformidade, exige um conhecimento profundo dos processos construtivos e uma análise cuidada dos elementos produzidos pelo projetista.

Estes tipos de procedimentos referidos anteriormente, potenciam a desmistificação de um pensamento, muitas vezes erroneamente generalizado, atribui às fiscalizações de obra uma determinada postura de obstáculo à evolução sequencial dos trabalhos. O facto de as fiscalizações organizarem e transmitirem à entidade executante as condições a verificar, através de regras escritas, reveste-as de um poder de sensibilização e cooperação junto desta que permitem ultrapassar muitos dos problemas de comunicação em obra, normalmente associados à transmissão de informação verbal e normalmente interpretada de forma diferenciada pelos vários intervenientes.

As estruturas metálicas, ao contrário do que sucede com outro tipo de construções, exigem um acompanhamento muito mais incisivo na fase inicial do processo desde a receção de materiais, fabrico e tratamento em oficina revelam-se de uma importância decisiva no sucesso das etapas posteriores de construção. A execução destas etapas de forma não fiscalizada pode conduzir à necessidade de, em fase de montagem, se terem de retificar partes da estrutura ou até, no limite, a totalidade da mesma, conduzindo a atrasos intolerantes e defraudando o dono de obra.

Por outro lado, o facto do domínio técnico e regulamentar deste tipo de estruturas se apresentar bastante desenvolvido e de os materiais utilizados estarem caracterizados e normalizados, permite definir, com precisão, os parâmetros a verificar bem como as suas tolerâncias e limites de aceitabilidade.

O ‘‘casamento’’ da construção metálica com a fiscalização de obras centrada na antecipação dos problemas e no acompanhamento integral do processo produtivo permite, com um esforço de sistematização da informação disponível, desenvolver uma metodologia de controlo que se crê poder ser de bastante utilidade para todos aqueles que quotidianamente se debatem com estes problemas.

1.4 Estrutura da Dissertação

O presente trabalho encontra-se dividido por capítulos que se diferenciam no seu conteúdo, sendo composto na totalidade por sete capítulos:

Capítulo I – Introdução: neste capítulo procede-se ao enquadramento geral do setor, apresentam-se os objetivos e metodologias utilizadas, é também caracterizado o verdadeiro sentido desta dissertação definindo-se por último a estrutura integral deste trabalho.

Capítulo II – Construção Metálica: apresenta-se a perspetiva integrada da construção metálica, fazendo uma análise aos seus aspetos históricos, sociais, culturais, ecológicos e económicos.



Especificidades da Fiscalização de Obras em Construção Metálica

Capítulo III – Fiscalização de Obras de Estruturas metálicas: é enquadrada a fiscalização de obras na ótica das construções metálicas numa lógica de qualidade, abordando o sistema normativo aplicado ao setor.

Capítulo IV – Processos Gerais de Produção de Estruturas Metálicas: este capítulo é onde está incluído todo o conhecimento tecnológico compilado e sintetizado, envolvendo definições de projeto e caracterizações de materiais e fabrico de componentes.

Capítulo V - Controlo de Produção de Estruturas Metálicas: elaboração de um processo metodológico de fiscalização de estruturas metálicas com base num plano de controlo de conformidade.

Capítulo VI – Caso de Estudo: neste capítulo utiliza-se este manual de procedimentos na execução de uma obra.

Capítulo VII – Conclusão: apresentam-se as conclusões do trabalho efetuado, sendo abordados alguns dos possíveis desenvolvimentos futuros do tema.

2. Construção Metálica

2.1 História dos Metais

Existem inúmeras publicações sobre a evolução cronológica dos metais, cada civilização fez o seu próprio desenvolvimento em função da cultura (Ducassé, 1962). Neste capítulo, pretende-se fazer uma breve citação da forma como os metais evoluíram.

Para caracterizar o limite entre a era moderna e a era neolítica, também denominada por Idade da Pedra, os arqueólogos tiveram necessidade de classificar os estádios de desenvolvimento das civilizações em Idade do Cobre, Idade do Bronze e Idade do Ferro. Os povos que melhor dominavam as técnicas de processamento e extração de metais foram os que se destacaram, tanto nas formas de trabalho como no campo de batalha, originando assim os grandes impérios que existiram.

Supõem-se que o primeiro contacto com os metais aconteceu na era neolítica entre 6000 a 4000 AC associado ao uso de óxidos vermelhos (de ferro) em corantes para rituais, assim como os minerais azuis e verdes (de cobre) na Mesopotâmia e no Egipto. O ouro, a prata e o cobre foram os primeiros metais a serem descobertos, dado que existiam no seu estado nativo.

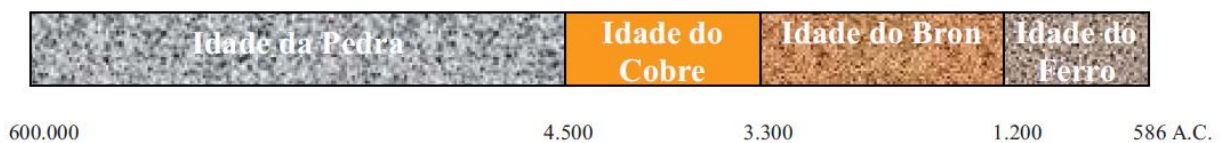


Fig. 1 - Evolução cronológica das eras dos metais (Ducassé, 1962)

O cobre era muito abundante no solo, era facilmente trabalhado com o auxílio de pedras, convertendo-se depois em utensílios. Os artefactos de cobre, mais antigos, encontrados datam de 6000 AC, sendo descobertos no Médio Oriente, mais precisamente perto de Ur. Acredita-se, mais por acidente do que por intenção, foi produzida uma liga de cobre e estanho, surgindo assim o bronze por volta de 3000 AC na suméria. Esta liga era mais dura e mais resistente que o cobre, sendo mais facilmente vazada em moldes, mais trabalhável e originando por sua vez produtos de melhor qualidade.

Em alguns lugares, assim como no Egipto, a Idade do Cobre prolongou-se até mais tarde, devido aos minérios de estanho não serem tão abundantes e bem distribuído e a proporção de cobre e estanho ser crítica (entre 1% e 10% de estanho). Os Egípcios começaram tarde na manufatura do bronze, sendo este obtido de Troia e Creta, mas dominaram uma técnica de vazamento muito avançada. Este período, denominado Idade do Bronze, estendeu-se até à Era Romana.

Na china, por meados de 2000 AC, é descoberto um novo metal, o ferro. Este não ocorre no estado nativo e pensa-se mesmo que as primeiras formas de ferro a serem usadas pelo Homem Primitivo provieram de meteoritos (o ferro encontrado possuía quantidades significativas de níquel,

característica do ferro meteórico). Este ferro era trabalhado de forma idêntica ao ouro, prata e cobre, só que tinha a particularidade de ser mais duro. O seu preço era elevado devido à sua raridade. Só mais tarde é que o ferro foi usado com maior abundância, quando se descobriu como extrai-lo do seu minério.

O ferro começou por ser aquecido em fornos rudimentares abaixo do seu ponto de fusão, separando-se a “ganga” (impurezas com menor ponto de fusão), a qual se deslocava para a superfície sendo removida sob a forma de escória, restando a esponja de ferro, a qual era trabalhada na bigorna, obtendo-se as ferramentas e utensílios existentes naquela altura (2500 a 500 AC).

Só quando se desenvolveram técnicas de tratamento térmico do ferro (contendo carbono) é que se conseguiram produtos fortes e resistentes. A têmpera foi desenvolvida pelos Gregos e pelos Romanos e os produtos endurecidos tinham vantagem que se refletiam nas vitórias militares contribuindo para a construção de Impérios. Por volta de 400 AC, os Gregos desenvolveram tratamento térmico denominado revenido, que consistia em aquecer o metal a uma temperatura conveniente tornando-o menos frágil. Com a sua aplicação melhoraram a produção de lanças e espadas. Deste modo, o ferro tornou-se cada vez mais importante na vida e cultura do Homem.

No período que se seguiu à queda do Império Romano, o mundo assistiu a uma crescente produção de ferro, tendo-se desenvolvido na Espanha a Forja Catalã, como se observa na figura 2, que veio a dominar todo o processo de obtenção de ferro e aço durante a Idade Média, espalhando-se pela Alemanha, Inglaterra e França (Ducassé, 1962).

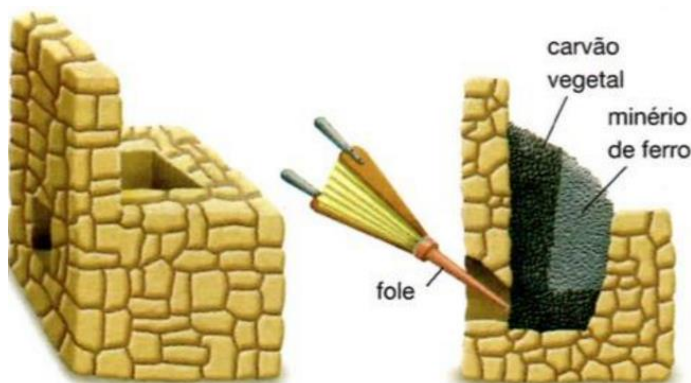


Fig. 2 - Forja Catalã (Siderurgia, 2007)

O processo técnico mais importante na história da indústria siderúrgica foi a invenção das Forjas Altas, que foram as precursoras do alto-forno, desenvolvidas gradualmente a partir da forja para fiar o ferro, datadas do século XV. As altas paredes desse alto-forno rudimentar impediam que o lingote fosse retirado por cima, obrigando a partir as próprias paredes e a remover a massa de ferro, reconstruindo-se o forno em seguida para receber outra carga.

Com estas forjas descobriu-se um metal ferroso em forma líquida – o ferro fundido. Este era usado para fabricar todo o tipo de objetos (caçarolas, balas de canhão, canos, utensílios, etc.) e permitiu uma maior produção de ferro, através de refinação.

O alto-forno a carvão mineral apareceu por volta de 1630 e o processo de refinação do ferro chamado pudlagem foi patenteado na Inglaterra em 1781 por Henry Cort. O grande impulso ao desenvolvimento da siderurgia ocorreu com o advento da tração a vapor e o surgimento das ferrovias, a primeira das quais inauguradas em 1827.

Uma das descobertas que contribuiu para melhorar o processo de produção industrial foi a da utilização do carvão de pedra para redução do minério de ferro. Permitindo assim, que a localização dos complexos siderúrgicos se tornasse independente da localização das florestas fornecedoras do carvão de lenha, ditando, por privilégios geológicos, o pioneirismo da Grã-Bretanha na medida em que possuía, em territórios economicamente próximos, jazidas de minério de ferro e de carvão de pedra. Nesta fase, começou a Revolução Industrial, este país foi considerado a oficina mecânica do mundo.

A expansão da Revolução Industrial modificou totalmente a metalurgia e a vida das pessoas. O uso de máquinas a vapor para injeção de ar no alto-forno, laminares, tornos mecânicos e o aumento de produção transformaram o ferro e o aço no mais importante material de construção.

Em 1786, três cientistas franceses (Bertholet, Monge e Vandermonde) definiram a natureza da relação Ferro/ Ferro Fundido/Aço, em função do conteúdo de carbono, correspondendo uma quantidade de menos 0,1% e 2% no aço e entre 2,5% e 6% no ferro fundido. Atualmente o termo ferro já não é usado, tendo sido substituído por aço de baixo teor em carbono.

2.2 Aço na Construção e sua Aplicação

No final do século XVIII, por ocasião do que se convencionou chamar Primeira Revolução Industrial, o ferro, entre outros produtos industriais, surgiu como um material em condições de competir com os materiais de construção conhecidos e sacralizados até então, no que se refere a preço e outras qualidades. (Lima, 2013)e (Brasil, 2012).

O ferro esteve presente, inicialmente com alguma timidez mas posteriormente com mais intensidade, como material de construção de uso considerável, a ponto de se falar em uma arquitetura do ferro. Esta arquitetura existiu nos países europeus que se desenvolveram com a Revolução Industrial, nos Estados Unidos da América do Norte, e manifestou-se praticamente em todo o mundo durante o século XIX.

Com o aparecimento das ferrovias surgiu a necessidade de se construírem numerosas pontes e estações ferroviárias, tendo sido estas as duas primeiras grandes aplicações do ferro nas construções. As pontes metálicas eram feitas inicialmente de ferro fundido, depois em aço forjado e posteriormente passaram a ser construído em aço laminado.

Na realidade, não se deve atribuir somente às potencialidades plásticas do ferro fundido, nem às possibilidades estruturais do aço, o teor revolucionário do novo material. O que o ferro tinha de mais surpreendente era a sua escala de produção industrial, que se contrapunha a todo o um processo de execução das construções até então.

Em 1779, contruiu-se a primeira ponte de ferro, em Coalbrookdale, Inglaterra, cuja fotografia se reproduz na figura 3, e em 1787, o primeiro barco de chapas de ferro. No entanto, nenhum dos novos usos do ferro contribuiu de maneira mais decisiva para o desenvolvimento da indústria siderúrgica do que os caminhos-de-ferro.



Fig. 3 - Ponte de Coalbrookdale (htt)

Em 1830, entra em operação a linha Liverpool-Manchester, o auge da atividade de construção ferroviária deu-se em 1847, quando a construção de 10.000 km de linhas de caminhos-de-ferro estava em andamento. Por volta da década de 1850, este período havia passado, e a estrutura básica da rede ferroviária britânica havia já sido estabelecida.

Uma vez concluída a sua rede ferroviária, a Grã-Bretanha passou a construir cada vez menos, enquanto crescia a construção de ferrovias no resto da Europa, e nos demais continentes, com destaque para os Estados Unidos que, na década de 1870, construiu 51.000 milhas de estradas de ferro, o que representava tanto quanto havia sido construído, na mesma época, no resto do mundo.

Em termos de obras notáveis de estrutura metálica destacam-se a Britannia Bridge (Inglaterra), construída em 1850 em viga caixão, o Palácio de Cristal (Londres), a Brooklyn Bridge (Nova Iorque), construída em 1883, e a Torre Eiffel (Paris), construída em 1889 com 312m de altura.

Mais tarde surge o Empire State Building (Nova Iorque), construído em 1933 e com 380m de altura, a Golden Gate Bridge (São Francisco), construída em 1937, e o World Trade Center (Nova Iorque), construído em 1972 e com 410m de altura.

De um momento para o outro, os estados unidos tinham deixado todo o mundo para trás. Produziam ferro com relativa abundância a partir de meados do século XIX, e já conheciam e utilizavam os modelos (estruturas em ferro fundido) criados para resolver os problemas de risco de incêndio em fábricas de tecido inglesas.

Na década de 1880-1890 a produção dos altos-fornos dos Estados Unidos tornou-se a maior do mundo, e antes de 1900 a produção de aço norte-americana ultrapassou a da sua rival mais

próxima, a Alemanha. Desde aquela data as indústrias siderúrgicas do continente norte-americano ampliaram-se num ritmo galopante.

Em 1957, os Estados Unidos e o Canadá produziram, conjuntamente, 36,6% do ferro gusa e 36,5% do aço bruto do mundo. O rival mais próximo, a União Soviética, produziu consideravelmente menos da metade desse total.

Atualmente o aço é produzido através de dois processos básicos – a partir de matérias-primas (minério de ferro, calcário e coque) em alto-forno, ou a partir de sucata em forno elétrico de arco. Cerca de 60% do aço produzido nos dias de hoje é feito pelo primeiro processo, como é visível na figura 4, também designado por processo integrado.

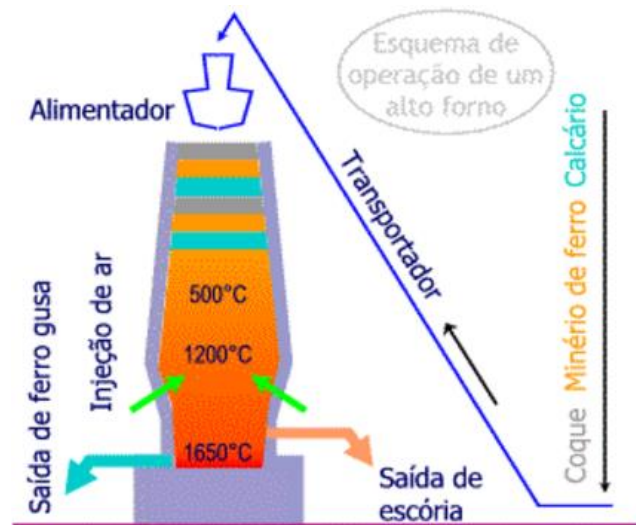


Fig. 4 - Exemplo de um alto-forno atual (Metalurgia, 2010)

A produção do aço em alto-forno utiliza entre 25% a 35% de aço reciclado enquanto que na produção do aço em forno de arco elétrico essa percentagem é aproximadamente de 95%. A produção em forno de arco elétrico é, por consequência, mais fácil e mais rápida.

De acordo com a figura 5, depois de transformada a matéria-prima o aço fundido é vazado e solidificado num sistema de rolos contínuo. Assim se produzem os chamados produtos semiacabados. Estes produtos podem ser placas (ou chapas), que possuem um perfil transversal retangular, ou barras de ferro ou lingotes, que têm um perfil transversal quadrado.

Por fim, estes produtos semiacabados são transformados, ou “laminados” em produtos acabados. Alguns deles são transformados a quente, na chamada laminagem a quente. Mais de metade da chapa que foi laminada a quente é subsequentemente laminada à temperatura ambiente (laminagem a frio).

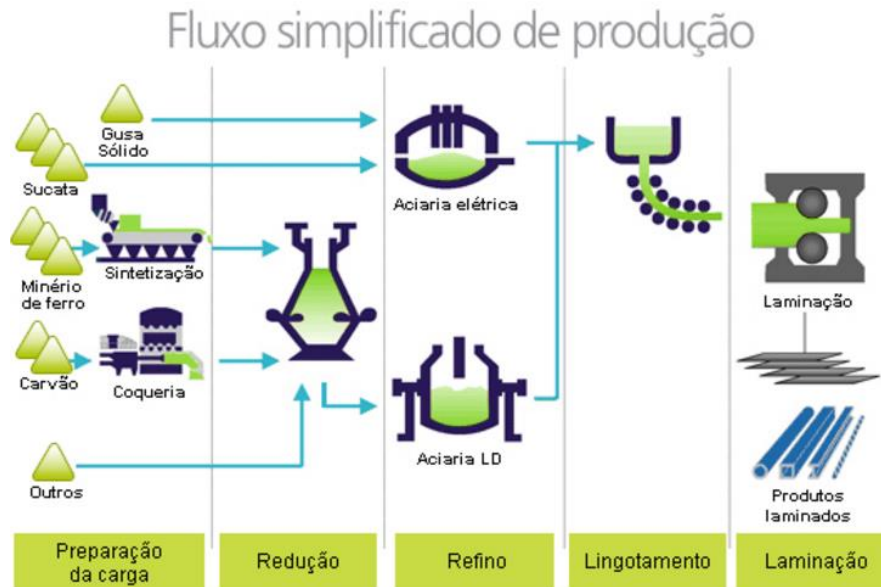


Fig. 5 - Fabrico do aço atualmente (Montinni, 2012)

Em termo geral pode referir-se que as principais aplicações das estruturas de aço na atualidade correspondem a:

- Pontes ferroviárias e rodoviárias;
- Edifícios industriais, comerciais e habitacionais;
- Hangares, garagens e estações;
- Coberturas de grandes vãos em geral, torres de transmissão e subestações e torres para antenas;
- Chaminés industriais;
- Plataformas offshore;
- Construção naval;
- Construções hidromecânicas;
- Silos industriais;
- Guindastes e pontes rolantes;
- Instalações para exploração e tratamento de minério;
- Caminhos-de-ferro;
- Parques de diversões;
- Etc..

Ao nível da construção o aço desempenha também um papel estrutural mas também de revestimento.

Na ótica estrutural o aço pode ser utilizado individualmente nas estruturas de edifícios, ou combinado com o betão, conferindo-lhe resistência suplementar aos esforços. Diversos elementos de aço são também usados para transportar e armazenar água, gás e outros líquidos.

Os aços podem ser classificados em grupos, em base de propriedades comuns:

Composição: como por exemplo aços-carbono e aços liga, ou de aço inoxidável;

Métodos de fabricação: tais como temperas, processos de oxigenação, ou métodos de alto-forno;

Métodos de acabamentos: tais como laminação a quente e a frio, e diferentes técnicas de plaqueamento;

Tipos de produto: como por exemplo barras, fios, chapas, folhas, tiras, tubos, ou aço estrutural;

Práticas de desoxidação: como decapagem, semi-decapagem, dessulfuração para determinada classe de material;

Microestrutura: tais como ferrítica, perlítica e Martensíticos;

Tratamento térmico: tais como recozimento, tempera e revenimento.

Há ulteriores subdivisões desses grupos, com aços-carbono de baixo, médio ou alto teor de carbono. Estes aços tem aplicações genéricas em construção de estruturas soldadas ou rebitadas. O aumento do teor de carbono aumenta a sua tensão de cedência, mas também reduz a sua tenacidade e a soldabilidade.

| ELEMENTO | f_u (MPa) | CARACTERÍSTICAS | PRINCIPAIS APLICAÇÕES |
|--|------------------------|---|---|
| BAIXO CARBONO $C \leq 0,30\%$; | <440 | Boa tenacidade, conformabilidade, e soldabilidade | Pontes, edifícios, navios, caldeiras, tubos, estruturas mecânicas, etc. |
| MÉDIO CARBONO $0,30\% < C \leq 0,60\%$; | Entre 440 a 590 | Média conformabilidade e soldabilidade. | Estruturas parafusadas de navios e vagões, tubos, estruturas mecânicas, implementos agrícolas, etc. |
| ALTO CARBONO $0,60\% < C < 1,70\%$. | \leq Entre 590 a 780 | Más conformabilidade e soldabilidade, alta resistência ao desgaste. | Peças mecânicas, implementos agrícolas, trilhos e rodas ferroviárias. |

Tabela 1 – Subdivisões dos aços em grupos em função do teor de carbono (Colaço, 2016)

2.3 Sustentabilidade da Construção de Estruturas Metálicas

O Desenvolvimento Sustentável pode ser encarado como uma forma de desenvolvimento que assegura a satisfação das necessidades da geração atual sem comprometimento das necessidades das gerações futuras. A aplicação dos princípios do Desenvolvimento Sustentável ao ciclo global da construção conduz à Construção Sustentável, fazendo-se sentir desde a extração das matérias-primas, passando pelo planeamento, projeto e construção de edifícios e infraestruturas, até à sua demolição final e gestão dos resíduos dela resultantes (Gervásio, 2017) (Diamantino, 2014)

A indústria da construção desempenha um papel fundamental nos objetivos do Desenvolvimento Sustentável, não só pela sua contribuição para a economia global como também pelos seus impactos significativos, tanto em termos ambientais como em termos sociais. A este respeito podem salientar-se os seguintes aspetos:

A construção é o maior setor industrial, na Europa (10 a 11% do PIB) e nos Estados Unidos da América (12%);

O setor da construção providencia 7% do emprego mundial;

O setor da construção consome 50% de todos os recursos extraídos da crosta terrestre;

Os edifícios e o setor da construção consomem 25 a 40% de toda a energia utilizada (países da OCDE);

O ambiente construído é a maior fonte de gases com efeito de estufa (GHG) na Europa e contribui para aproximadamente 40% das emissões de GHG a nível Mundial;

A construção e os resíduos resultantes da demolição contribuem para 30 a 50% dos resíduos totais produzidos nos países mais ricos.

Nos dias que correm o aço é considerado um material “amigo do ambiente” devido essencialmente ao seu potencial de reciclagem.

Sabe-se também que por cada Kg de aço produzido através do processo de alto-forno consome-se, em termos de energia primária, 28,97 MJ e, em termos de emissões de CO₂, são produzidos 2,45 Kg. O processo do forno de arco elétrico possui melhor eficiência ambiental, reduzindo os valores para 9,53 MJ e 0,44 Kg, respetivamente, produzindo também menos resíduos. Os seguintes gráficos evidenciam esta realidade:

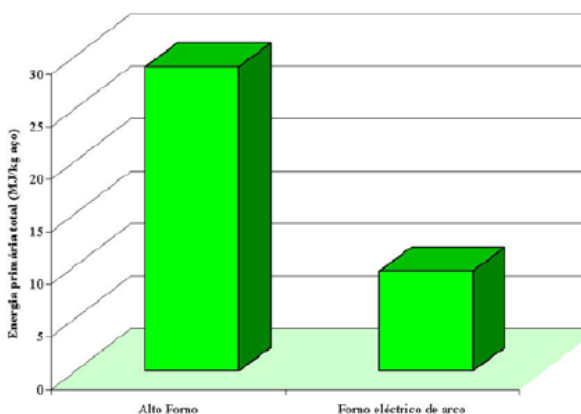


Fig. 7 - Energia primária consumida por processo (Gervásio, 2017)

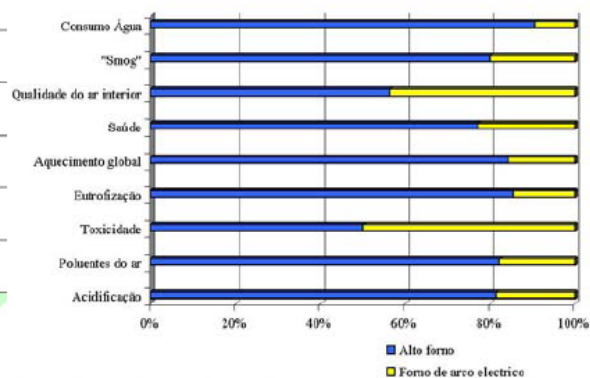


Fig. 6 - Impactos ambientais (Gervásio, 2017)

Para que o processo de fabrico do aço seja continuamente alimentado é necessário que exista sucata selecionada em quantidades suficientes. Tal é conseguido com as propriedades magnéticas do aço, que lhe permitem ser separado com bastante facilidade dos resíduos e dos lixos domésticos.

Uma das principais vantagens do aço é que este pode ser reciclado indefinidamente sem perder quaisquer qualidades.

A evolução tecnológica levada a cabo pela indústria de produção do aço na União Europeia, entre 1970 e 2000, permitiu também reduzir consideravelmente os consumos de energia e as emissões de CO₂.

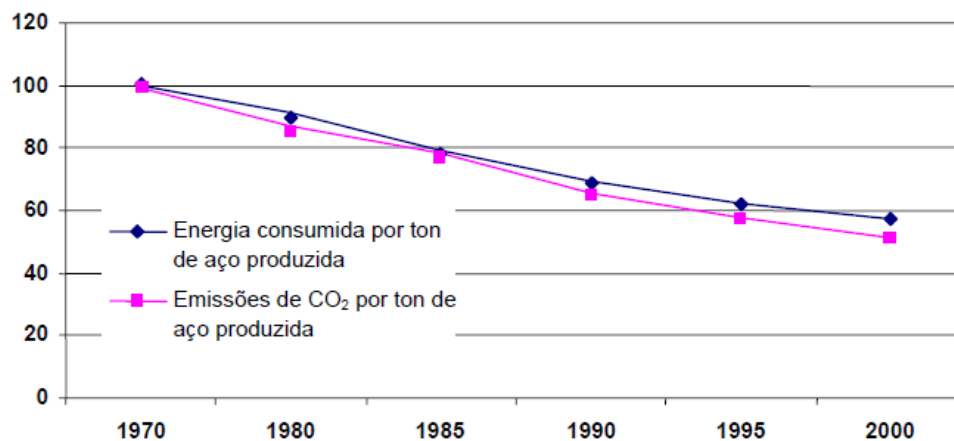


Fig. 8 - Consumos de energia e emissões de Co₂ na EU de 1970 a 2000 (Gervásio, 2017)

Apesar de todos os esforços já desenvolvidos apontam-se constantemente novas metas para tornar o processo de produção de aço ainda mais sustentável, podendo sugerir-se as seguintes medidas a desenvolver:

- Infraestruturas com eficiência energética elevada (ex. processos de combustão mais eficientes, otimização do processo de reaquecimento dos fornos, etc.);
- Reciclagem de produtos que ainda não são recicláveis;
- Reutilização de gases (ex. uso do gás do alto forno como combustível para fornos de aquecimento ou como fonte de energia);
- Utilização de coprodutos como matérias-primas na indústria do aço ou em outras indústrias (ex. aproveitamento de escórias na construção de estradas ou na produção de cimento);
- Utilização de aços com resistência elevada;
- Investigação e desenvolvimento contínuos em tecnologias mais amigas do ambiente.

Todavia, não são só os benefícios ambientais do aço que contribuem para os objetivos da construção sustentável (Diamantino, 2014). As estruturas metálicas apresentam características



Especificidades da Fiscalização de Obras em Construção Metálica

muito particulares que lhes permitem ser englobadas nos tipos de estruturas que se enquadram com a construção sustentável:

As estruturas metálicas são fabricadas e montadas rapidamente, evitando a manutenção prolongada dos estaleiros e a produção subsequente de resíduos;

A pré-fabricação das estruturas contribui também para a minimização do período de fixação de estaleiros;

A construção de estruturas metálicas minimiza os níveis de poluição e de ruído no estaleiro da obra;

As componentes das estruturas metálicas são entregues na obra na altura da sua montagem, não havendo desperdícios resultantes da mistura de componentes em obra;

Este tipo de construção não consome tanta cofragem, diminuindo assim a utilização da madeira em obra;

Os resíduos gerados durante são reduzidos ao mínimo, sendo na sua maior parte recicláveis;

Facilitam a colocação de materiais de isolamento, contribuindo para uma melhor eficiência energética do edifício;

A maior leveza das estruturas metálicas reduz o impacto das estruturas no solo de fundação, permitindo assim reduzir os consumos de betão nas fundações diretas e indiretas.

3. Fiscalização de Obras de Estruturas Metálicas

3.1 Enquadramento Geral

O conceito de fiscalização de obras tem sofrido uma evolução significativa ao longo dos últimos tempos. No início, este papel assentava na figura de fiscal de obra, normalmente pessoa conhecedora da arte e muitas vezes sem habilitações de nível superior, integrado nos quadros da administração pública (entidades camarárias, rodoviárias, ferroviárias ou portuárias).

Na década de 90, em Portugal assiste-se a um forte incremento da atividade de construção, impulsionada pelos fundos comunitários europeus, que se traduziu em grandes projetos quer a nível de autoestradas, pontes e EXPO 98.

Também, a descida das taxas de juro tornou possível concretizar a ambição dos cidadãos na aquisição de habitação própria e a construção de edifícios desenvolveu-se em grande escala.

Com esta nova procura surge a necessidade de se estruturarem novos serviços de fiscalização, mais capazes de assegurarem ao cliente a garantia de conformidade entre o preconizado em projeto e o efetivamente executado em obra, dando origem ao aparecimento de um conjunto de empresas do setor privado com o intuito de prestarem apoio técnico aos donos de obra.

Nos dias que correm, a fiscalização é vista numa perspetiva mais vulgar, havendo autores que defendem a substituição do termo “Fiscalização de Obras” por “Gestão Técnica do Empreendimento” (Borges A. S., 2008). Esta evolução, na abordagem desta temática foi conduzida por uma maior preocupação com a gestão da construção associada à qualidade da mesma.

Neste prisma, a Gestão Técnica do Empreendimento, deve associar-se ao dono de obra a montante da fase de execução, contribuindo com a sua experiencia na revisão do projeto, no processo de seleção do empreiteiro e funcionando como pivô no relacionamento com entidades licenciadoras. Na fase de execução deverá procurar apoiar o empreiteiro, induzindo-o a cumprir o definido em projeto, e ajudar a encontrar soluções alternativas e viáveis caso se verifique a necessidade de alteração imprevista. A prestação deverá ir além da conclusão da obra, contribuindo para a preparação do processo de utilização e garantia do empreendimento.

3.2 Intervenientes no Processo Construtivo

Pode dizer-se que o processo construtivo se inicia no dono de obra que, quando decide avançar com um determinado empreendimento, lança concurso ou contrata um projetista para materializar a sua intenção, e estabelece contactos com as entidades licenciadoras responsáveis para averiguar a sua exequibilidade. Uma vez executado o projeto e efetuados os ajustes, lança a obra a concurso bem como os serviços de fiscalização, surgindo como novas entidades o empreiteiro e a

fiscalização. A contratação da fiscalização pode também anteceder a fase de concurso, contribuindo esta para auxiliar o dono de obra na seleção do adjudicatário.

A fiscalização, funciona como elemento charneira entre os três principais intervenientes, relacionando-se também com as entidades licenciadoras, que desempenham um papel menos interventivo no processo.

Embora se reconheça que existem contactos diretos entre os diferentes agentes, cabe a fiscalização aglutina-los sobre a sua alçada e organizar toda a informação técnica de forma sistematizada, transmitindo-a de igual modo a todos os intervenientes. A fiscalização não se deve subjugar aos interesses de qualquer das partes, mas exercer a sua atividade de forma isenta e em total observância do enquadramento legal aplicável, com vista à promoção da qualidade da obra.

3.3 Funções da Fiscalização

A atividade de fiscalização enquadra-se no âmbito da engenharia de serviços, ramo da engenharia que se ocupa das atividades de consultoria e assessoria à implementação e verificação dos processos industriais. “A engenharia de serviços define-se como sendo todo o conjunto de metodologias destinadas a otimizar a relação entre entidades intervenientes numa prestação de serviços” (Borges A. S., 2008).

São atribuições da entidade prestadora de serviços definir o articulado do serviço, responsabilizar-se pelo cumprimento desse articulado, controlar as vertentes económica e de prazos do serviço e gerir de forma eficaz toda a informação que lhe esta associada. Para cada uma destas vertentes, o prestador deverá apetrechar-se de todos os instrumentos que lhe permitam um correto acompanhamento dos processos, traduzíveis em fluxogramas de procedimentos, organigramas de responsabilidades e mapas de controlo, e identificar preventivamente os potenciais riscos e/ou condicionalismos que poderão surgir para cada uma das etapas do processo, definindo os respetivos planos de mitigação.

Numa prestação de serviços genérica existem três entidades, a que adjudica os serviços, a que os executa e a que deles usufrui. Ao nível da fiscalização de obra o adjudicatário (dono de obra) é, com exceção dos casos em que a obra é entregue a outra(s) entidade(s) após a sua conclusão, simultaneamente o destinatário e o prestador da empresa de fiscalização.

3.4 Legislação Aplicável

As leis nacionais não estão a acompanhar a evolução das pessoas mais avaliadas nesta matéria, pois se o conceito de fiscalização de obras evoluiu para a gestão técnica do empreendimento a legislação aplicável mostra-se um pouco atrasada e desatualizada, apesar de nos últimos anos se encontrar com uma evolução significativa.

Depois de mais de uma década de batalha, o Decreto-Lei nº 73/73 de 28 de Fevereiro, é uma prova viva desta lenta evolução legislativa, foi revogado pelo Decreto-Lei nº 31/2009, e em 2015 voltou a ser alterado pelo Decreto-Lei 40/2015, sendo a lei que estabelece a qualificação profissional exigível aos técnicos responsáveis pela elaboração e subscrição de projetos, coordenação de projetos, direção de obra pública ou particular, condução da execução dos trabalhos das diferentes especialidades nas obras particulares de classe 6 ou superior e de direção de fiscalização de obras públicas ou particulares (Engenheiros, 2015).

O Decreto-Lei 59/99, Regime Jurídico das empreitadas de Obras Públicas, é ainda uma referência muito viva nos agentes do setor, mas mostra ainda mais a visão reduzida do papel da fiscalização, que se encontra centrada num único fiscal de obra (art.º 178) °. Também, o artigo 180º, mostra as funções da fiscalização mas não as distribui por áreas funcionais como acontece ainda em muitas empresas. Do artigo 182º, facilmente se conclui que este apenas se centra na atividade de inspeção, renegando a importância da adoção de procedimentos de carácter preventivo de apoio técnico ao empreiteiro como medidas da qualidade em obra.

3.5 Qualidade

A fiscalização, entendida numa lógica de qualidade, assenta em sete áreas funcionais (Borges A. S., 2008):

- Conformidade – Procura garantir que a obra é executada conforme o previsto em projeto;
- Economia – Trata das questões relacionadas com custos e faturação;
- Planeamento – baliza e faz cumprir prazos;
- Informação – Gere toda informação e seu registo;
- Licenciamento e contrato – Conduz, gere e implementa atos administrativos;
- Segurança – Induz a implementação do Plano de Segurança e Saúde;
- Qualidade – Implementa mecanismos de garantia de qualidade.

Estas áreas dependem umas das outras e complementam-se mutuamente.

Ao conceito de qualidade estão associadas sociedades sustentadas em rigor, produtividade e competitividade.

3.5.1 Definição

Segundo a norma britânica BS 4778 a qualidade é “o conjunto de propriedades e características de um produto ou serviço relacionadas com a sua capacidade de satisfazer exigências expressas ou implícitas...”

As exigências expressas correspondem a requisitos objetivos especificados pelo cliente, que não necessitam de constar em todos os produtos ou serviços desse tipo que sejam produzidos, enquanto que as exigências implícitas correspondem a requisitos associados a funções básicas que esses produtos ou serviços devem possuir, de cariz óbvio ou subordinado a normalização. (Costa, 1995)

Há autores que defendem a não existência de “produtos de qualidade”, mas antes “produtos cuja qualidade especificada pelo seu produtor encontra aceitação por uma faixa de mercado que garante a viabilidade económica da empresa produtora”. Por esta razão, podemos encontrar no mercado artigos do mesmo género, uns a preços altíssimos e outros bem mais reduzidos. Existem consumidores que procuram certas características, enquanto outros a dispensam sendo a lei de mercado da oferta e da procura que dita os preços a pagar.

Desta observação, e do alargamento das relações comerciais à escala global, resultou a necessidade de dotar a sociedade industrial de mecanismos de aferição e controlo das características dos produtos. Estes mecanismos correspondem a Sistemas de Qualidade que, de forma geral, se destinam a permitir que a produção assegure níveis de qualidade fixos e adaptados às exigências dos potenciais clientes.

Na construção as exigências do dono de obra estão expressas no contrato e no projeto e a fiscalização funciona como entidade zeladora e promotora de garantia de qualidade.

3.5.2 Sistema Português de Qualidade

O sistema Português da Qualidade (SPQ) é o conjunto integrado de entidades e organizações interrelacionadas e interatuantes que, seguindo princípios, regras e procedimentos aceites internacionalmente, congrega esforços para a dinamização da qualidade em Portugal e assegura a coordenação dos três subsistemas:

Subsistema da Metrologia- é o subsistema do SPQ que garante o rigor e a exatidão das medições realizadas, assegurando a sua comparabilidade e rastreabilidade, a nível nacional e internacional, e a realização, manutenção e desenvolvimento dos padrões das unidades de medida.

Subsistema da Normalização – é o subsistema do SPQ que enquadra as atividades de elaboração de normas e outros documentos de carácter normativo de âmbito nacional, europeu e internacional.

Subsistema da Qualificação – o subsistema do SPQ que enquadra as atividades da acreditação, da certificação e outras de reconhecimento de competências e de avaliação da conformidade, no âmbito do SPQ.

Este sistema é coordenado e desenvolvido pelo Instituto Português da Qualidade (IPQ) (Qualidade I. P., Sistema Português da Qualidade, 2017), e tem como objetivo alcançar o desenvolvimento sustentado do País e o aumento da qualidade de vida da sociedade em geral (Art.º 4º do Decreto-Lei n.º 71/2012 de 21 de Março).

A atividade de acreditação é coordenada pelo Instituto Português da Acreditação (IPAC), cujo logótipo se encontra representado na figura 9.



Fig. 9 - Logótipo IPAC (Qualidade I. -I.)

A certificação entende-se por uma avaliação credível da conformidade face a documentos de referência precisos. É aplicável a empresas e profissionais, garantindo que as metodologias de gestão e processos de produção que estes definiram na sua estratégia de qualidade, se encontram corretamente implementados e utilizados. Atualmente existem vários Organismos de Certificação de Sistemas de Qualidade devidamente acreditados pelo IPQ, destacando-se os seguintes:

- APCER – Associação Portuguesa de Certificação;
- SGS Portugal – Société Générale de Surveillance ;
- LRQA – Lloyds Register Quality Assurance ;
- BVQI – Bureau Veritas Quality Internacional de Portugal ;
- DNV – Det Norske Veritas Portugal;
- EIC – Empresa Internacional de Certificação;
- TUV Rheinland Group;
- D.Q. Auditores;
- Q.S.C.B. – Quality Systems Certification Bureau.

A certificação é também aplicável a produtos, assegurando a Marca de Produto Certificado a conformidade deste com a norma ou especificação técnica que lhe é aplicável, confirmando que o mesmo foi produzido por um fabricante que dispõe de um sistema de controlo da produção adequado. Esta marca é muito importante na fiscalização de obras, pois o conhecimento de que o produto foi elaborado por um fabricante com este tipo de controlo oferece garantia de veracidade das características que lhe são atribuídas.

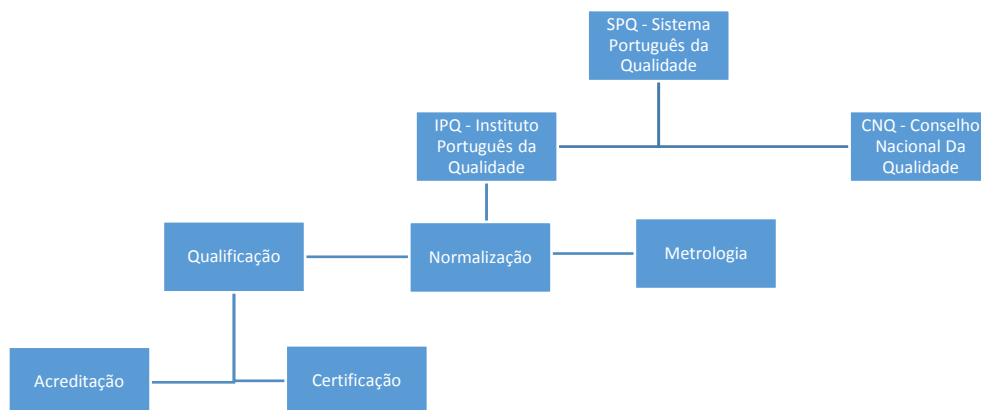


Fig. 10 - Organograma do Sistema Português de Qualidade

3.5.3 Regulamentação de Estruturas e Elementos Metálicos

Na construção e execução de estruturas metálicas não existe um padrão global comum ou do sistema de classificação, pelo contrário há um número de classificações e designações de sistemas aceites e utilizados em todo o mundo, que são desenvolvidos e padronizados nacionalmente e internacionalmente, quer pela Standard Development Organizations (SDOs), ou por indústrias paralelas específicas ou por fornecedores.

Alguns dos padrões mais utilizados para aço e sistemas de classificação:

AISI (American Iron and Steel Institute) normas de aço, que são tradicionalmente usados nos EUA e no exterior. Embora este padrão esteja a cair em desuso, estando a ser substituído pela SAE, ASTM e outras normas dos EUA.

EN (Euronorm), que é um sistema harmonizado de metal e normas de aço dos países europeus. Embora seja aceite e usado efetivamente em todos os países europeus, é “obsoleto” por sistemas nacionais, como o alemão DIN, BS britânico, AFNOR francês e italiano UNI são comumente utilizados e muitas vezes encontrados em muitos documentos e especificações.

Japonesa JIS normas de aço, que são amplamente utilizados em regiões da Ásia e do Pacífico. Especificações do aço JIS foram também muitas vezes utilizadas como base para outros sistemas nacionais, tais como coreanos, chineses e taiwaneses.

Normas de aço de países recém-industrial, como chines GB e YB, índio IS, e a brasileira NBR, embora as vezes menos desenvolvidas e detalhadas, estão a ser cada vez mais utilizadas devido ao crescimento e integração global. Temos também na Rússia GOST, que é praticamente do padrão de fato para toda a Comunidade de Estados Independentes.

3.5.4 Marcação CE

A Marcação CE indica que um produto está conforme com a legislação europeia e com as normas europeias harmonizadas, podendo circular livremente no mercado interno.

Através da afixação da marcação CE num produto, o fabricante declara, sob a sua exclusiva responsabilidade, a conformidade desse produto com todos os requisitos legais necessários à obtenção da marcação.

Estão abrangidas pela marcação CE as categorias de produtos ao abrigo de diretivas específicas que prevejam a obrigatoriedade da marcação CE.

A Comissão Europeia adotou esta estratégia, que consistiu na criação das Diretivas da Nova Abordagem, com o intuito de garantir a obtenção de produtos europeus mais seguros e competitivos. Estas visavam legislar os requisitos essenciais dos produtos, de forma a atingir um patamar de garantia de proteção do ambiente, da saúde pública e da segurança de pessoas e bens.

Os Eurocódigos Estruturais constituem um conjunto de Normas Europeias (EN) relativas ao projeto de estruturas de engenharia civil, realizadas com os diferentes materiais. Adicionalmente, os Eurocódigos estabelecem o enquadramento para a elaboração de especificações técnicas harmonizadas destinadas a produtos e elementos estruturais, proporcionando um meio de proceder à sua caracterização técnica. Daí, que os Eurocódigos tenham um papel muito importante de suporte à marcação CE de produtos e elementos estruturais, dado que permitirão, por meio de cálculo, o estabelecimento dos valores declarados das propriedades (neste caso, essencialmente as resistências mecânicas).

De entre os Eurocódigos aplicar no dimensionamento de estruturas metálicas há que ter em consideração o Eurocódigo 3 – Projeto de estruturas de aço que inclui regras gerais para análise e dimensionamento de elementos em estruturas metálicas.

O Eurocódigo 3 (ver figura 11) deve ser utilizado de uma forma consistente com as normas: NP EN 1990 (bases para projeto de estruturas), NP EN 1991 ações em estruturas, EN 1090 (Execução de estruturas de aço e estruturas de alumínio) e com os restantes Eurocódigos estruturais (EN 1992 e EN 1994 a EN 1999) (Simões, 2014).

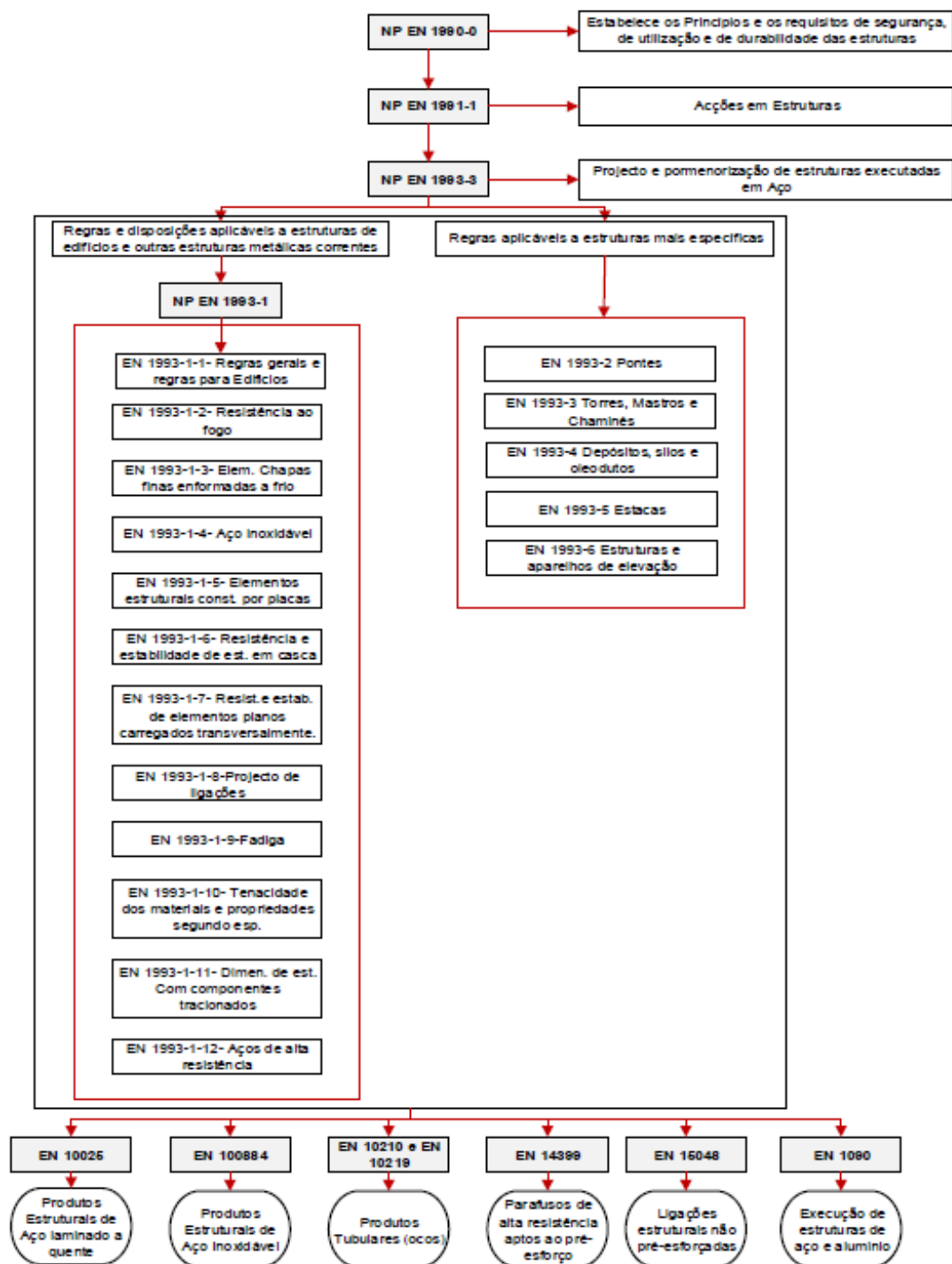


Fig. 11 - Regulamentação essencial de estruturas metálicas (Mista, 2012)

O Eurocódigo 3, bem como os restantes Eurocódigos, devem ser utilizados em simultâneo com as normas de produtos, de dimensões, tolerâncias das dimensões, limites mínimos para as propriedades dos materiais (f_y e f_u) pela norma de execução, de especificações para a qualidade

mínima de execução relativamente a alinhamentos, tolerâncias ou imperfeições e, pelas normas de dimensionamento, de resistências características.

O Regulamento (EU) N° 305/2011, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 9 de Março de 2011, estabelece condições harmonizadas para a comercialização dos produtos de construção, e revoga a Diretiva 89/106/CEE do Conselho, pelo que estabeleceu a partir de 1 de Julho de 2014 todas as estruturas metálicas em aço e/ou alumínio colocadas no espaço económico Europeu, sejam elementos, subconjuntos ou kits de estruturas estão obrigadas a terem marcação CE.

As características essenciais dos produtos de construção encontram previsão nas especificações técnicas harmonizadas em função dos requisitos das obras de construção.

Os requisitos básicos das obras de construções são:

- Resistência mecânica e estabilidade;
- Segurança contra incêndio;
- Higiene, Saúde e Ambiente;
- Segurança e acessibilidade na utilização;
- Proteção contra ruído;
- Economia de energia e isolamento térmico;
- Utilização sustentável dos recursos naturais.

No caso dos produtos e componentes de aço, apenas são aplicáveis a resistência mecânica e estabilidade, e a segurança ao incêndio. As normas harmonizadas de produtos permitem direccionar estes requisitos gerais para pressupostos mais específicos, utilizando propriedades mensuráveis para atestar o seu desempenho (por exemplo, cedência, resistência e capacidade de carga) e estabelecendo os valores a serem cumpridos. No caso dos produtos e componentes metálicos as principais normas harmonizadas são:

- Produtos estruturais de aço laminado a quente – EN 10025-1;
- Produtos estruturais de aço inoxidável – EN 100884-5;
- Perfis tubulares (ocos) – EN 10210-1 e EN 10219-1;
- Parafusos de alta resistência aptos ao pré-esforço – EN 14399-1;
- Ligações estruturais não pré-esforçadas – EN 15048-1;
- Execução de estruturas de aço e alumínio – EN 1090-1.

O fabricante é o único responsável por um sistema de Controlo de Produção na Fábrica (CPF) que garanta que o produto está em conformidade com as especificações técnicas correspondentes, nomeadamente as Normas Harmonizadas (hEN) e aprovações técnicas europeias (ATE).

Desta forma, é reconhecido que qualquer elemento fabricado a partir de aço estrutural pode receber a Marcação CE a partir do momento que demonstrar o cumprimento de norma harmonizada, de acordo com um sistema de comprovação adequado (CPF), em particular a família das normas EN 1090.

A família das normas EN 1090 estabelece os requisitos técnicos e de desempenho a que devem obedecer as estruturas metálicas de aço e alumínio, assim como o nível de exigência necessário ao controlo de fabrico interno CPF, articulando-se em três partes:

EN 1090-1: Exigências para a avaliação da conformidade dos elementos estruturais;

EN 1090-2: Exigências Técnicas para estruturas de aço;

EN 1090-3: Exigências Técnicas para estruturas de alumínio.

Segundo a norma NP EN 1990, as estruturas metálicas devem ser dimensionadas, fabricadas e montadas, de forma a desempenharem as funções para as quais são concebidas, durante um período de vida útil estimado, conforme figura 12.

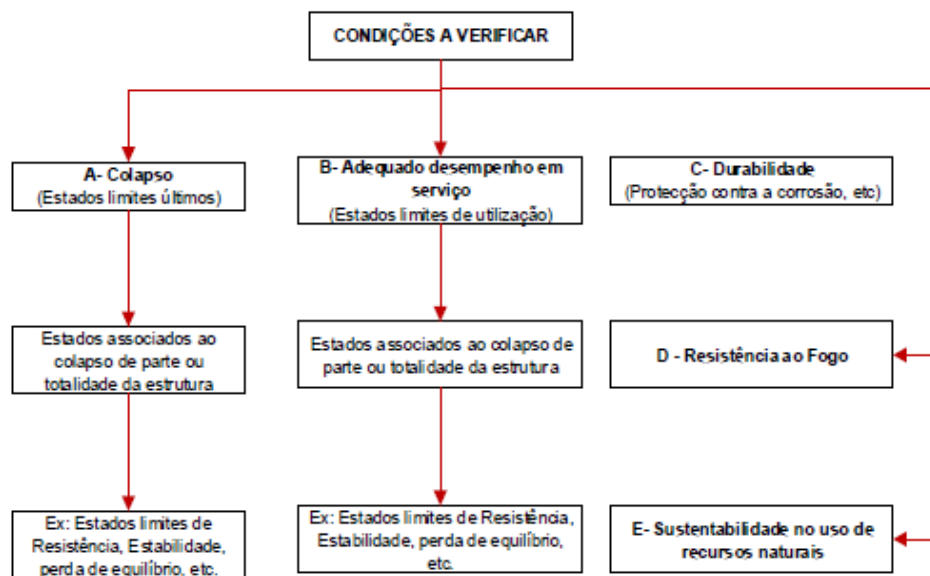


Fig. 12 - Condições a verificar NP EN 1090 (Mista, 2012)

Estas normas estabelecem sucintamente: a organização do projeto e especificações técnicas; aspetos construtivos e respetivos processos tecnológicos; plano de Inspeção e Ensaio; e qualificação dos processos tecnológicos, dos operadores e outros técnicos.

A fim de dar resposta a estas novas exigências, as empresas precisam de avaliar qual o seu estado atual, em que medida já respondem aos novos requisitos exigidos, identificar os requisitos a implementar, e estabelecer planos de ações a desenvolver.

O princípio fundamental da marcação CE baseia-se na declaração do fabricante atestando que os seus produtos satisfazem as características de desempenho, definidas como essenciais para a sua aplicação no domínio da construção.

Com este objetivo, o fabricante deve conhecer os requisitos em termos de características de desempenho definidas como essenciais e os valores necessários à sua satisfação. Para os componentes de aço estrutural estes requisitos estão definidos na cláusula 4 da EN 1090-1.

Cabe assim ao fabricante, para cada um destes requisitos, estabelecer o Controlo de Produção em Fábrica (CPF), de modo a evidenciar a conformidade dos mesmos conduzindo à emissão da declaração a cada uma das características de desempenho atrás mencionadas, aplicáveis ao seu processo, conforme previsto no anexo ZA.1 da EN 1090-1. Para os componentes de aço estrutural, o sistema de avaliação de conformidade encontra definição na cláusula 6 da EN 1090-1.

O fabricante deverá utilizar métodos de ensaio especificados para avaliar se os produtos estão em conformidade com os requisitos especificados. Para os componentes de aço estrutural estes métodos de avaliação estão definidos na cláusula 5 da EN 1090-1.

Por fim, deverá marcar os produtos de modo correto, utilizando uma classificação adequada e sistema de designação conforme definido nas cláusulas 7 e 8 da EN 1090-1.

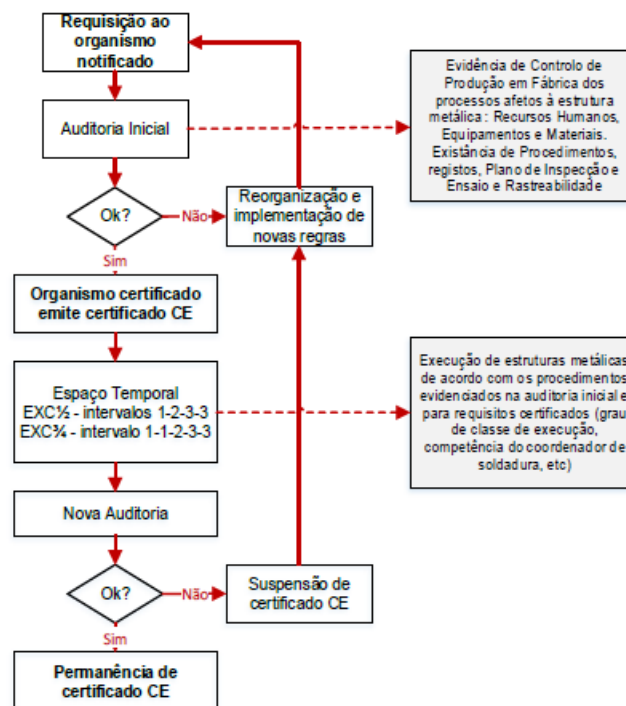


Fig. 13 - Como requerer para ser certificado (Mista, 2012)

Numa primeira abordagem, no que concerne à análise da implementação da EN 1090 importa analisar mais detalhadamente três pontos principais, com o objetivo de definir a classe de execução a aplicar:

Classificação da estrutura ou componente estrutural em termos de classe de execução (EXC) e material;

A classe de execução EXC é definida conhecendo a natureza dos materiais envolvidos, tipo de solicitações (estáticas, dinâmicas,...) e classe de consequência em caso de falha ou colapso da estrutura ou componente estrutural em termos de vidas humanas, impacto económico e ambiental;

A norma estabelece quatro classes de execução, desde a classe 1 (EXC1) até a classe 4 (EXC4), ou seja, da menos á mais restritiva. Cada classe de execução contém uma serie de requisitos específicos para a execução da fabricação em seu conjunto.

No caso da classe de execução não ter sido definida pelo projetista a norma prevê que a classe a considerar e EXC2. Desta forma, determina-se a classe de execução com base numa matriz de três entradas: classe de consequência, categoria de serviço e categoria de produção, conforme representado no Tabela 2.

| CLASSES DE CONSEQUÊNCIAS | | CC1 | | CC2 | | CC3 | |
|---|-----|------|------|------|------|---------|---------|
| CATEGORIAS DE SERVIÇO | | SC1 | SC2 | SC1 | SC2 | SC1 | SC2 |
| CATEGORIAS DE PRODUÇÃO | PC1 | EXC1 | EXC2 | EXC2 | EXC3 | EXC3a) | EXC3 a) |
| | PC2 | EXC2 | EXC2 | EXC2 | EXC3 | EXC3 a) | EXC4 |
| a) A classe de execução EXC4 deve ser aplicada a estruturas especiais ou estruturas com consequências extremas no caso de uma falha estrutural tal como requerido pelas disposições nacionais | | | | | | | |

Tabela 2 – Matriz de definição da classe de Execução (Qualidade I. -I.)

As categorias de serviço podem ser as seguintes:

SC1 – Estruturas sujeitas a ações estáticas, sísmicas ou de fadiga de baixa intensidade;

SC2 – Estruturas submetidas a ações de fadiga ou ações sísmicas em regiões de media a alta atividade.

Quanto às categorias de produção podemos classificar como:

PC1 – Estruturas sem componentes soldados ou com componentes soldados fabricados de aço de classe inferior a S355;

PC2 – Estruturas com componentes soldados fabricados com aço de classe S355 ou superior, ou outros componentes de elevada complexidade de fabrico.

A segunda abordagem para a implementação da EN 1090, é relativa ao dimensionamento. O projeto estrutural deve ocorrer com base no dimensionamento por Eurocódigos aplicáveis (método de declaração 2 ou por outro código método 3b).

Por último, temos o controlo de produção (CPF), a organização deve estabelecer os procedimentos necessários que evidenciam o processo de execução em conformidade com os requisitos da norma. Ou seja, deve identificar os produtos constituintes necessários para a execução de estrutura ou componente estrutural, como o aço, consumíveis de soldadura (elétrodos, gás, etc..) ligações mecânicas e outros. Para estes produtos constituintes a organização deve cumprir com a compra e

respetiva receção especificando a norma aplicável e tipo de certificação para o respetivo produto, conforme indicação da EN 1090-2 ou EN 1090-3. Por exemplo, para uma obra EXC2 que usa chapa em aço S275 JR, deverá especificar de acordo com a EN 10025 e certificado tipo 2.1.

Importa referir que a forma como as características essenciais de desempenho do componente pode depender dos produtos constituintes utilizados no fabrico, e pode ser identificada através da verificação das características essenciais de desempenho discriminadas na norma harmonizada para o produto constituinte, como é visível na figura 14:



Fig. 14 - Marcação CE de Viga de Aço Soldada (Silvestre, 2012)

A organização deve também evidenciar que estabelece a rastreabilidade necessária de acordo com a classe de execução. Deve ainda evidenciar a avaliação da capacidade dos seus processos como corte, quinagem, furação outros e controlar o processo de decapagem, pintura, galvanização, metalização, conforme o especificado na EN 1090-2 (no caso do aço), assim como no processo de soldadura. Para este último, a organização deve salvaguardar que tem um coordenador de soldadura de competência adequada à EXC, tipo de material e respetiva espessura, e que realiza o processo de soldadura conforme a EN 1090 recomenda. Para estabelecer o aperto de ligações mecânicas deve ser evidenciada a conformidade dos requisitos da norma.

A aposição da marcação CE é a prova dada pelo fabricante de que os produtos estão conformes com as disposições das diretivas comunitárias que lhes são aplicáveis, permitindo-lhes a sua livre circulação pelo Espaço Económico Europeu (EEE).

Esta aposição da marcação CE, como é visível na fig. 15, é da responsabilidade do fabricante, seus agentes ou representantes autorizados estabelecidos no EEE, e deve ser aposta na sequência da aplicação dos mecanismos descritos na diretiva ou diretivas aplicáveis, complementados por decisões comunitárias. A marcação CE deve ser aposta de forma visível, facilmente legível e indelével, no próprio produto, num rótulo nele afixado, na respetiva embalagem ou nos documentos comerciais de acompanhamento.



Fig. 15 - Marcação CE (Qualidade I. P., Sistema Português da Qualidade, 2017)

A marcação CE não possui carácter voluntário e em paralelo com esta marcação podem também ser apostas marcas nacionais ou outras.

Na construção, mais precisamente na fiscalização de obras, a existência de produtos com marcação CE ajuda no processo de conformidade pois sem esta poderiam necessitar de ser ensaiados.

3.5.5 Normas ISO

A série de normas ISO, foram criadas pela Organização Internacional de Normalização (ISO), com o objetivo de melhorar a qualidade de produtos e serviços. A ISO, é uma das maiores organizações que desenvolve normas no mundo, e foi criada a partir da União da Internacional Federation of the Nations Standards Coordinating Committee (UNSCC). Assim, a ISO começou a funcionar oficialmente no ano de 1947, congrega atualmente 163 países. A ISO aprova normas internacionais em todos os campos técnicos, exceto na eletricidade e eletrónica, cuja responsabilidade é da IEC (Comissão Internacional Eletrónica) (Org, 2017)

Estas normas certificam produtos e serviços em várias organizações no mundo todo. A normalização esta baseada num documento, que oferece um modelo padrão para a implantação do sistema de gestão da qualidade.

Até aos dias de hoje a fundação ISO já publicou cerca de 21 600 normas, com âmbitos tão distintos como agricultura e construção, engenharia mecânica, medicina, ou mesmo as tecnologias de informação.



Especificidades da Fiscalização de Obras em Construção Metálica

As normas que definem as políticas de qualidade e os procedimentos que devem ser seguidos para a obtenção da qualidade pretendida são as normas da serie ISO 9000 (9000, 9001, 9004 e outras associadas).

A atual ISO9000:2000, foi revista no ano 2000, e define os aspeto fundamentais do Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) e a terminologia associada.

A norma 9001 especifica os requisitos que devem cumprir os SGQ, debruçando-se sobre aspetos de documentação, política de qualidade e responsabilidades da direção da empresa, processos de produção e metodologias de avaliação de resultados e incremento de desempenho.

A norma ISO 9004 fornece diretivas para as ações a desenvolver pela empresa vocacionadas para o incremento do desempenho e produtividade.

Os SGQ implementados com a ajuda destas normas são aplicáveis às empresas e não à qualidade intrínseca dos produtos ou serviços. As normas ISO 9000 não conferem uma qualidade superior a um produto/serviço, garantem apenas o mesmo padrão de qualidade e as mesmas características.

As empresas que decidirem certificar-se ao abrigo destas normas, contactando para tal um qualquer dos organismos referidos na secção 2.2.2, obterão certificados válidos por um período de três anos. Durante este período serão auditadas anualmente, e no final alvo de uma auditoria para renovação do certificado.

4. Processos Gerais de Produção de Estruturas Metálicas

4.1 Tipos de Aços Estruturais

Os aços correntes para elementos estruturais variam consoante as suas propriedades mecânicas (determinadas a partir de ensaios de tração, ensaios de choque e, ocasionalmente, ensaios de dobragem) e a sua composição química, como podemos verificar nas tabelas 3 e 4.

| Designação | Qualidade | Tensão de cedência f_y e tensão de rotura f_u em N/mm ² | | | | Alongamento mínimo em % (2) ($L_0 = 5,65/S_0$) | | | Energia absorvida mínima no ensaio de choque (J) (3) | |
|--|-----------|--|-----|------------------|-----|---|------------------|-------------------|--|------------------|
| | | Espessura nominal em mm | | | | Espessura nominal em mm | | | Espessura nominal em mm | |
| | | $t \leq 40$ | | $40 < t \leq 80$ | | $3 < t \leq 40$ | $40 < t \leq 63$ | $63 < t \leq 100$ | Temperatura °C | $10 < t \leq 15$ |
| S235 | JR | 235 | 360 | 215 | 360 | 26 | 25 | 24 | 20 | 27 |
| | JO | | | | | | | | 0 | 27 |
| | J2 | | | | | | | | -20 | 27 |
| S275 | JR | 275 | 430 | 255 | 410 | 22 | 21 | 20 | 20 | 27 |
| | JO | | | | | | | | 0 | 27 |
| | J2 | | | | | | | | -20 | 27 |
| S355 | JR | 355 | 510 | 335 | 470 | 22 | 21 | 20 | 20 | 27 |
| | JO | | | | | | | | 0 | 27 |
| | J2 | | | | | | | | -20 | 27 |
| | K2 | | | | | | | | -20 | 40 |
| S450 | | 440 | 550 | 410 | 550 | | | | | |
| (1) Os valores apresentados neste quadro são valores de referência. Para detalhes consultar a norma EN10025. | | | | | | | | | | |
| (2) Os valores apresentados neste quadro são aplicáveis a provetes longitudinais para o ensaio de tração. Para chapas, chapas largas e produtos longos de largura maior ou igual a 600 mm utilizam-se provetes transversais e o alongamento mínimo deve ser inferior a 2%. | | | | | | | | | | |
| (3) Para espessuras inferiores a 10 mm a energia mínima absorvida no ensaio de choque deve deduzir-se da figura 1 da norma EN10025. | | | | | | | | | | |

Tabela 3 – Valores nominais da tensão de cedência F_y e da tensão de rotura F_u para aços correntes de acordo com EN 10025-2 (Qualidade I. P., NP EN 10025, 2004)

| Designação | Qualidade | Cem % máx. Para espessuras nominais t em mm | | | Mn% Máx. | Si% Máx. | P% Máx. | S% Máx. | N% Máx. | Máx. CEV para espessuras nominais em mm | |
|------------|-----------|---|-------------|--------|----------|----------|---------|---------|---------|---|--------------|
| | | t ≤ 16 | 16 < t ≤ 40 | t > 40 | | | | | | t ≤ 40 | 40 < t ≤ 150 |
| S235 | JR | 0.17 | 0.20 | 0.17 | 1.40 | - | 0.045 | 0.045 | 0.007 | 0.35 | 0.38 |
| | JO | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 1.40 | - | 0.040 | 0.040 | 0.009 | 0.35 | 0.38 |
| | J2 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 1.40 | - | 0.035 | 0.035 | - | 0.35 | 0.38 |
| S275 | JR | 0.21 | 0.21 | 0.22 | 1.50 | - | 0.045 | 0.045 | 0.009 | 0.40 | 0.42 |
| | JO | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 1.50 | - | 0.040 | 0.040 | 0.009 | 0.40 | 0.42 |
| | J2 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 1.50 | - | 0.035 | 0.035 | - | 0.40 | 0.42 |
| S355 | JR | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 1.60 | 0.55 | 0.045 | 0.045 | 0.009 | 0.45 | 0.47 |
| | JO | 0.20 | 0.20 | 0.22 | 1.60 | 0.55 | 0.040 | 0.040 | 0.009 | 0.45 | 0.47 |
| | J2 | 0.20 | 0.20 | 0.22 | 1.60 | 0.55 | 0.035 | 0.035 | - | 0.45 | 0.47 |
| | K2 | 0.20 | 0.20 | 0.22 | 1.60 | 0.55 | 0.035 | 0.035 | - | 0.45 | 0.47 |

Nota: Os valores apresentados neste quadro são valores de referência. Para maiores detalhes consultar a norma EN10025.

Tabela 4 – Composição química a que tem de obedecer os aços correntes de acordo com a EN 10025-2 (Qualidade I. P., NP EN 10025, 2004)

A classificação dos aços correntes, que se apresenta nas tabelas 3 e 4 é designada pelas letras JR, JO, J2 e K2, que representam o nível de qualidade do aço no que diz respeito à soldabilidade e aos valores especificados do ensaio de choque. A qualidade aumenta para cada designação de JR e K2.

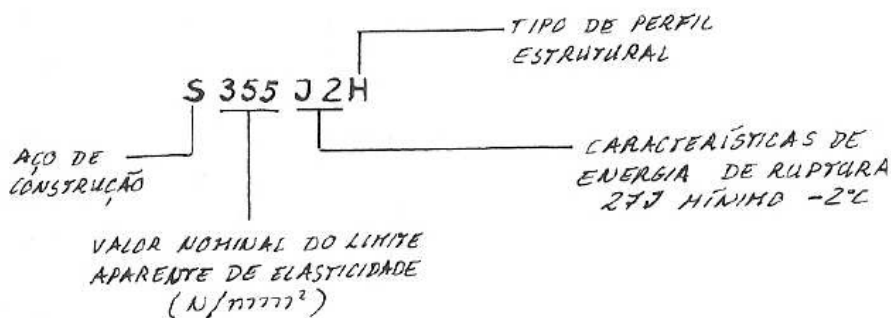


Fig. 16 - Designação dos Aços (Mascarenhas, 2007)

4.2 Tipos de Perfis Metálicos

Na construção, o aço é aplicado sob a forma de perfis dividindo-se em quatro tipos:

- Perfis Laminados;
- Perfis enformados a frio;
- Perfis Reconstruídos Soldados (PRS);
- Perfis Tubulares.

4.2.1 Perfis Laminados

Os perfis laminados são produzidos através da laminação de blocos de aço, em sistema de laminação continua. O bloco é colocado em fornos de reaquecimento e, em seguida, introduzido no laminador, adquirindo a sua forma final através de uma sucessão de passes em cilindros conformadores. Os perfis laminados mais utilizados são os perfis I, H e U, com abas paralelas, que permitem melhores soluções de encaixes, podendo ser utilizado nos mais diversos segmentos da construção civil, indústria, construção naval e fundações (Schmitzhaus, 2015)

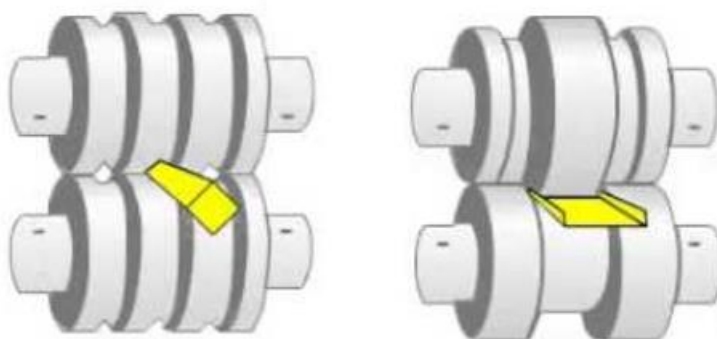


Fig. 17 - Laminação de perfis (Metalica, 2017)

Tipos de secção transversal:

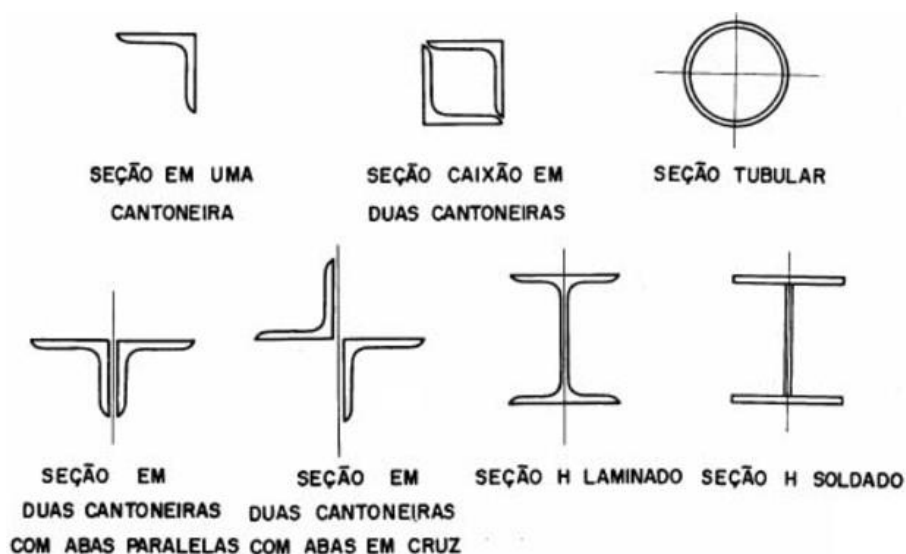


Fig. 18 - Tipos de secção transversal de perfis laminados (Metalica, 2017)

4.2.2 Perfis Enformados a Frio

São perfis obtidos pela dobragem a frio de chapas. São fabricados a partir de chapas muito finas com espessura uniforme, em geral com proteção anti corrosão prévia, permitindo obter secções com formas muito variadas, com boas propriedades mecânicas, reduzindo gastos de material. O aço destes perfis é menos dúctil, e como tal não deve ser utilizado em estruturas em que afadiga seja predominante, sendo em geral utilizados em elementos secundários ou em estruturas de pequeno porte (Simões, 2014)

Os perfis enformados a frio podem ser fabricados de forma descontínua, através de conformação com quinadeira ou por dobragem, ou contínua, através de conformação por rolos.

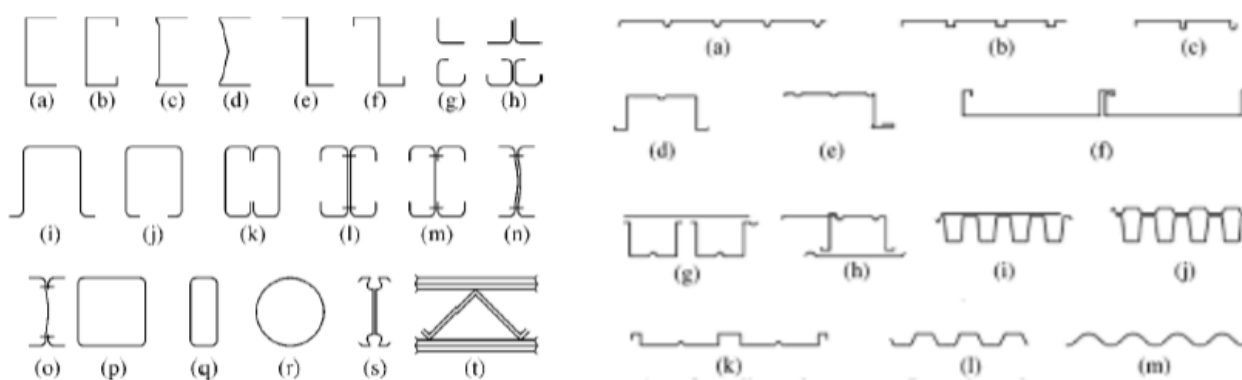


Fig. 19 - Exemplos de aplicações de perfis enformados a frio (Pinto, 2010)

4.2.3 Perfis Reconstituídos Soldados (PRS)

São perfis cuja secção varia ou com secção não ‘estandardizada’, tendo por isso que ser fabricados peça a peça a partir de chapas com a mesma espessura ou diferentes.



Fig. 20 – Perfis PRS (arquivo pessoal)

4.2.4 Perfis Tubulares

Na construção são também utilizados perfis tubulares, embora não tão predominantes como os perfis anteriormente referidos. Para produzir estes perfis a chapa é laminada a quente e, posteriormente, enformada a frio. Para fechar a secção executa-se uma soldadura longitudinal, por indução de alta frequência, removendo-se as rebarbas no exterior da costura. No final faz-se um reaquecimento num forno a 1100°C com enformação final e redução de tensões. Estes perfis tubulares podem também ser laminados a quente mas são bastante mais caros. As secções destes perfis podem ser circulares (CHS), quadrangulares (SHS) ou retangulares (RHS).

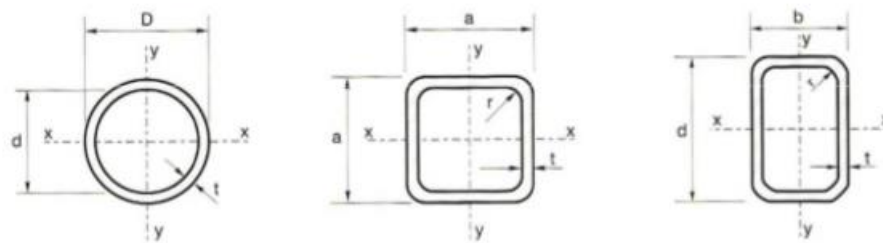


Fig. 21 – Perfis Tubulares (Metalica, 2017)

4.3 Corte

Os materiais utilizados nas estruturas metálicas são sujeitos a operações de medição, corte, furação, punção e marcação, em linhas automáticas, integradas por meio de sistemas transportadores. Estes equipamentos são programados diretamente a partir da sala de projeto, com o qual estão ligados, minimizando a possibilidade de erro humano e assegurando uma elevada fiabilidade rigor dimensional.

Por corte, entende-se a obtenção de uma peça extraída de uma chapa ou peça metálica, segundo um determinado contorno. Este é um processo constantemente utilizado no fabrico de estruturas metálicas, uma vez que os elementos fornecidos não vêm regra geral com as medidas de projeto sendo necessário proceder-se ao seu corte.

É um processo automatizado, onde todas as informações necessárias são importadas de um software como o Teckla Structures, por exemplo, em formato CNC'S (Controlo Numérico Computorizado) para a máquina de corte, possibilitando a execução de um plano de corte pormenorizado, acelerando todo o processo, onde o papel humano deixa de ter um papel preponderante, minimizando a probabilidade de erros e consequentemente de custos.

Basicamente existem dois processos de corte: Corte de Elementos Lineares (Perfil) e Corte de Elementos Planos (Chapas).

O corte de elementos lineares é um processo pelo qual se acerta o comprimento de uma peça e é normalmente efetuado com guilhotina ou prensa de corte. Nos casos, em que os contornos são mais complexos requer-se outro tipo de tecnologias como o Oxicorte, Corte por Plasma, por Laser ou por jato de água com abrasivo.

Todas estas tecnologias podem envolver a utilização de comando numérico, que permite otimizar a utilização da chapa e eliminar erros de traçagem.

4.3.1 Guilhotina

As guilhotinas são máquinas ferramentas para corte de chapas ou lâminas de metal (ilustrada na figura 22).



Fig. 22 - Guilhotina. (arquivo pessoal)

Esta máquina é utilizada principalmente para acertar o comprimento ou largura de uma peça e é normalmente adequada em barras de chapa até 12mm de espessura.

No processo de corte por guilhotina as chapas são submetidas à ação de pressão exercida por um punção, uma lâmina ou uma navalha de corte. É um processo que não apresenta grande precisão e as extremidades têm de ser tratadas para remover defeitos. A superfície de uma peça metálica cortada desta forma, normalmente apresenta quatro regiões (ilustradas na figura 23):

Uma pequena região de deformação plástica pela compressão da navalha sobre a superfície da chapa (rol over zone);

Uma região lisa de cisalhamento, brilhante (burnish zone ou shinny), na qual a navalha efetivamente penetra no material;

Uma região rugosa, opaca (matte ou fracture zone), na qual ocorre a rutura final e assim conhecida como região de “explosão”;

Eventualmente, uma rebarba de arrancamento final (burr).

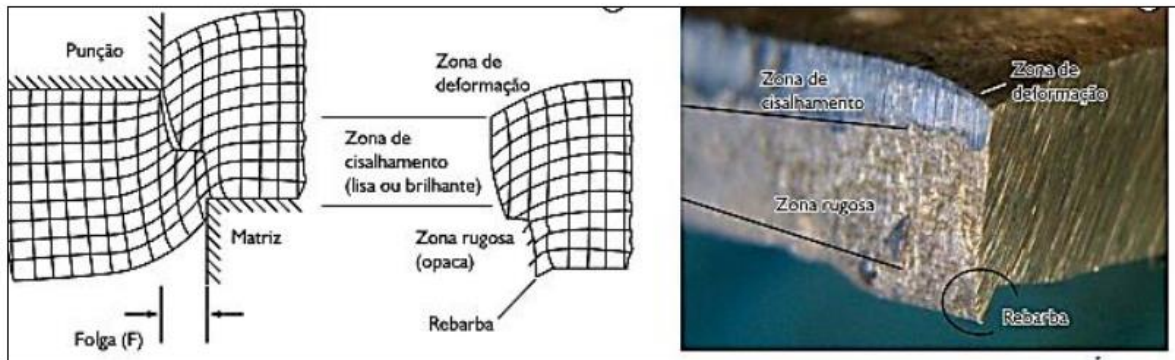


Fig. 23 - Superfície de uma peça cortada em guilhotina

4.3.2 Prensa de Corte

Mediante a adaptação de um punção cortante a uma prensa é possível cortar peças com formas ligeiramente complexas.

O princípio de corte é semelhante ao da guilhotina: um movimento relativo entre uma lâmina móvel e uma lâmina fixa secciona a chapa, ilustrado na figura 24.



Fig. 24 - Prensa de Corte (arquivo pessoal)

4.3.3 Serrote

O corte por serra é um dos mais recomendados (serra rígida ou por fita rotativa), por não introduzir tensões residuais, sendo o serrote, o equipamento mais usual.

Esta ferramenta é rápida e faz cortes de atados, tem algumas limitações quando tem de fazer cortes mais complexos e/ou com mais de 45°. Pode ser de fita ou de disco. Este processo é normalmente aplicado, a perfis ou barras.

Em geral, o corte dos perfis deve ser feito, de preferência, por serrote e só nos casos em que a natureza do corte o exija, por maçarico (no caso de entalhes, etc).



Fig. 25 - Serrote de fita vertical, marca Kaltenbach (arquivo pessoal)

4.3.4 Plasma, Oxicorte e Laser

Os processos de corte que envolvem fusão localizada são por plasma, Oxicorte e por laser. Cada um possui uma faixa de aplicações relativamente definida em função da espessura da peça a ser cortada. Esses processos são caracterizados por obter formas complexas em peças muito espessas (Oxicorte ou plasma) ou em altas velocidades de produção aliadas à flexibilidade de tipos de corte (laser).

O Oxicorte com maçarico ou corte por chama é de longe o processo de corte mais antigo que pode ser utilizado em aço macio. É geralmente considerado um processo simples e o equipamento e consumíveis são relativamente baratos. Um maçarico de Oxicorte consegue cortar chapa muito grossa, limitado principalmente pela quantidade de oxigénio que pode ser fornecida. No entanto, é o menos preciso ($\pm 1\text{mm}$) e também o mais lento ($0,5\text{m/min}$).

Quando devidamente regulado, um maçarico de Oxicorte fornece uma superfície de corte reta lisa. A escória no bordo inferior é muito reduzida e o bordo superior é apenas ligeiramente arredondado derivado das chamas do pré-aquecimento. Esta superfície é idealmente adequada para muitas aplicações sem tratamento posterior.

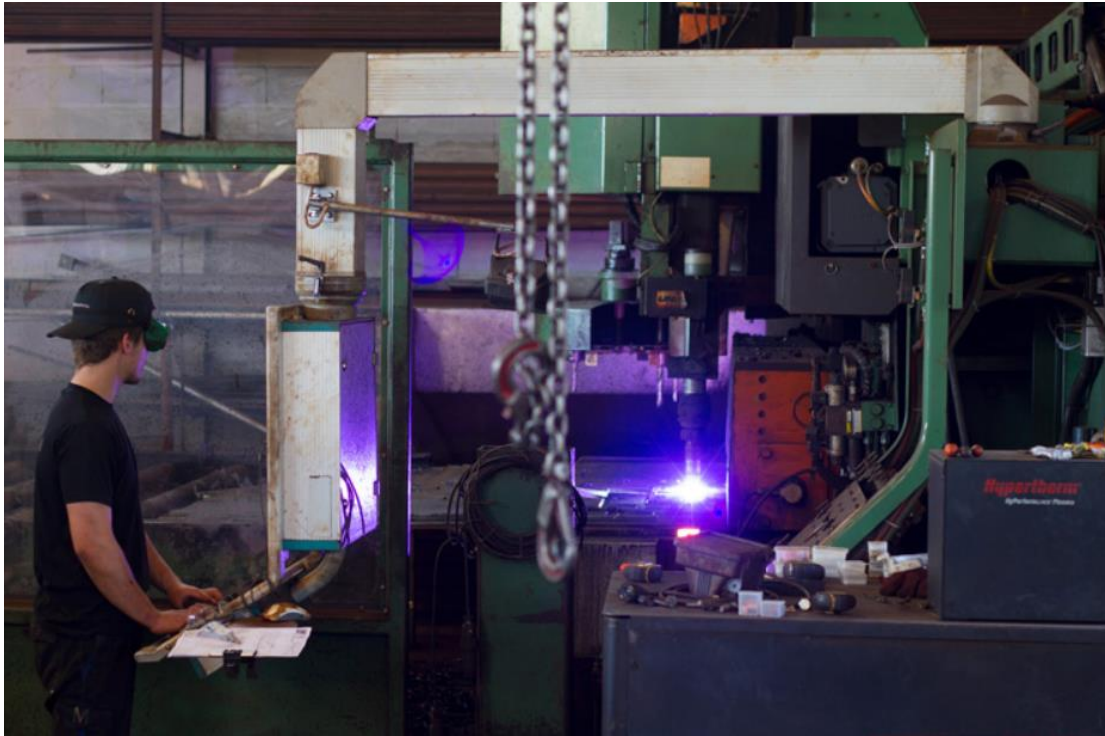


Fig. 26 - Máquina de Oxicorte (arquivo pessoal)

Neste processo de corte poderão surgir algumas imperfeições de fabrico como, entalhes devido a corte inadvertido, entaches devido a perturbações do fluxo (tensões residuais), desempenho a calor (temperaturas dos 480°C a 570° C), entre outras.

Por sua vez, o corte por plasma é um processo que tem uma precisão de (+/-0.8 mm) e uma velocidade de corte elevada (2m/min). Uma das vantagens deste processo é o corte resultante ser mais limpo do que o processo de Oxicorte. As suas principais desvantagens são o facto de o corte ficar inclinado relativamente à superfície da chapa (2° a 10°), dependendo da velocidade da operação bem como o facto do limite da espessura da chapa que corta ser de 35mm (a partir deste valor o corte fica imperfeito).

Este tipo de corte, por plasma, é um processo em que o material metálico é fundido na zona de corte pelo jato de plasma, sendo a junta de corte removida por jato de ar. Também são utilizados gases de corte de efeito oxidante e gases com injeção suplementar de água. O consumo de energia é elevado, porque o material tem de ser fundido numa unta larga. Os gases utilizados nas aplicações de corte por plasma são o árgon, o hidrogénio e o azoto (Martins, 2008).

O corte por plasma pode ser combinado com cabeça de Oxicorte, em mesas de corte controladas por CNC.

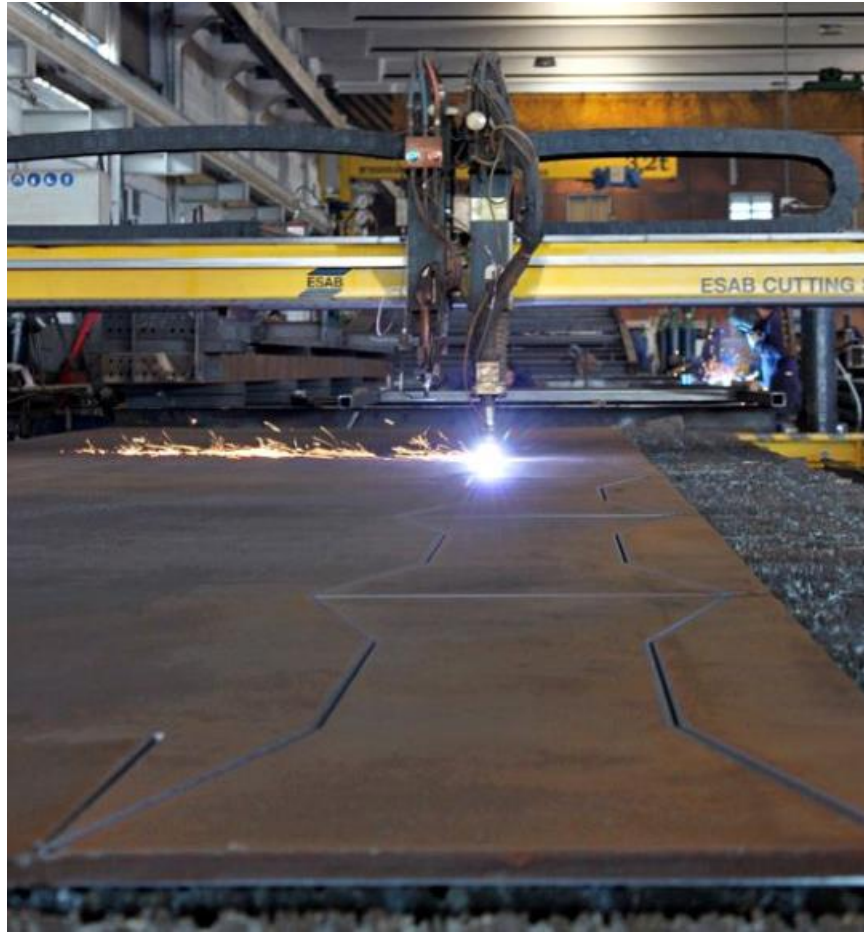


Fig. 27 - Máquina de corte de Plasma (arquivo pessoal)

No processo de corte por laser, a energia elétrica é transformada em luz com um só comprimento de onda (λ), que concentra energia de forma muito eficaz. O meio para formação do laser pode ser sólido (YAG) ou gasoso (CO_2 , N_2 ou He). Como nos demais processos de corte térmico, no corte laser é empregado um gás de assistência, dentre os quais os mais utilizados são: o oxigénio, o nitrogénio ou o ar comprimido. A definição da combinação entre o gás de assistência e o metal cortado é feita conforme a espessura, a velocidade e a qualidade de corte necessárias para as peças a serem obtidas. A precisão do corte, dependerá de fatores adicionais: regulação do equipamento, qualidade superficial da chapa, nível de tensão residual e composição química. Neste caso, a rugosidade do corte de chapas de aço aumenta com maiores teores de carbono, fósforo e molibdénio e a qualidade do corte é melhorada com menores teores de enxofre e silício (Martins, 2008).

Através deste último método de corte as peças não necessitam de acabamento uma vez que as superfícies não apresentam rebarbas.

No corte por laser são utilizadas máquinas com comandos numéricos para maximizar as potencialidades do corte.



Fig. 28 - Máquina corte de Laser (arquivo pessoal)

4.4 Furação

Para execução de furações podem aplicar-se os seguintes métodos:

- Punção;
- Laser;
- Plasma;
- Calor;
- Broca.

Em função das normas, as furações dos elementos metálicos tem de ser efetuadas respeitando o capítulo 6 da EN1090-2, que faz referencia ao dimensionamento dos furos, às tolerâncias de execução estabelecidas e seus processos de execução. Também a norma ISO 286-2 estabelece tolerâncias na execução dos furos.

Deve ter-se em atenção as seguintes recomendações no processo de furação (Martins, 2008):



A furação, quando realizada a saca-bocados ou a broca, que não garanta a forma cilíndrica e circular dos furos, será realizada com diâmetro inferior ao valor nominal, no mínimo de 2mm, sendo alargada para a do projeto, a madril, com as peças ligadas na sua posição definitiva;

Os alinhamentos dos furos deverão ser rigorosamente paralelos às secções de corte, admitindo-se tolerância de 1 mm;

Os furos relativos ao mesmo parafuso, em peças sobrepostas, deverão permitir a livre inserção do elemento de ligação das peças, sendo permitida, na excentricidade, a tolerância de 1mm, com a condição de se anular esta diferença a mandril;

Nos parafusos de cabeça embecida as dimensões do negativo e suas tolerâncias devem ser tais que a face superior da cabeça do parafuso e a face da peça onde é instalado coincidam; O comprimento nominal de parafusos oblongos não deve exceder 2,5 vezes o diâmetro nominal do parafuso;

No caso de ligações importantes a abertura dos furos deve fazer-se por brocagem simultânea dos diversos elementos a ligar;

Ainda, no caso de ligações importantes e sendo a abertura realizada por punçoamento, este será de diâmetro, pelo menos, 3mm inferior ao diâmetro definitivo, sendo posteriormente a mandrilagem realizada com as peças convenientemente ligadas (normativamente os furos têm que ser mandrilados para as classes de execução 3 e 4, mas esta operação pode ser dispensada nas classes 1 e 2 – apenas punção);

A abertura dos furos por punçoamento é proibida para estruturas metálicas da classe 3 e 4, sendo condicionada nas classes 1 e 2;

Somente se admite a abertura de furos por punçoamento sem posterior mandrilagem no caso de furos que não tenham função estrutural importante;

Quando existe a necessidade de fazer escariação nas peças, para a colocação do parafuso, essa deve ser executada de maneira a que quando o parafuso é colocado, a parte superior da sua cabeça fique nivelada coma face da peça;

Nas peças em que se tenham realizado furos deverão ser eliminadas as rebarbas das duas faces em contacto, para que se ajustem perfeitamente uma sobre a outra;

O equipamento a utilizar tem que obedecer aos requisitos da EN 1090 (12.3.2.3);

Nas emendas os orifícios das várias partes têm que ser executados na mesma direção.

Atualmente, nas metalomecânicas existem linhas automatizadas de furação de perfis que as executam com elevado rigor, precisão e qualidade. Existem máquinas com várias cabeças de brocas para funções diversas, diferentes orientações e múltiplos furos sendo a execução do trabalho controlada por computador.

As máquinas de furação podem também ser combinadas com as mesas de Oxicorte, corte por plasma ou laser.



Fig. 29 - Linha automática de furação (arquivo pessoal)

4.5 Ligações

4.5.1 Ligações Soldadas

Uma soldadura quando corretamente projetada e executada oferece uma característica e comportamento no mínimo igual e muitas vezes superior à própria resistência dos elementos ligados. As soldaduras, são realizadas na maioria dos casos, em oficina devido à facilidade e preço de execução comparativamente em obra. As ligações aparafusadas são em geral preferidas, para a montagem em obra, devido à maior facilidade de controlo na sua efetivação.

Os processos de soldadura destinam-se a unir peças de um modo permanente, através da fusão na zona de contacto do metal das peças ou de um material adicionado. Os diferentes processos de soldadura podem distinguir-se de uma maneira geral, quer pela fonte de energia utilizada para fundir o metal a soldar e o metal de adição, quer pela técnica como o metal em fusão é protegido da oxidação. O metal de adição pode estar na forma de eléktodos revestidos, fio ou barra. A soldadura pode ser manual, semiautomática ou automática.

A ligação soldada ocorre ao nível atómico, pelo que requer a aproximação dos átomos de superfície dos dois corpos a unir até distâncias inferiores à rugosidade superficial dos corpos. Essa aproximação atómica pode ser feita com materiais no estado solido, soldadura no estado solido, ou no estado liquido, soldadura por fusão. A soldadura no estado solido requer esforços elevados e cuidados de limpeza, que justificam a sua menor utilização nas estruturas metálicas. A soldadura por fusão resolve em grande medida estes problemas, pois a aproximação atómica ocorre no estado líquido, mas apresenta outros, como alterações estruturais e de propriedades mecânicas, os defeitos e as tensões e deformações induzidas nos elementos soldados.

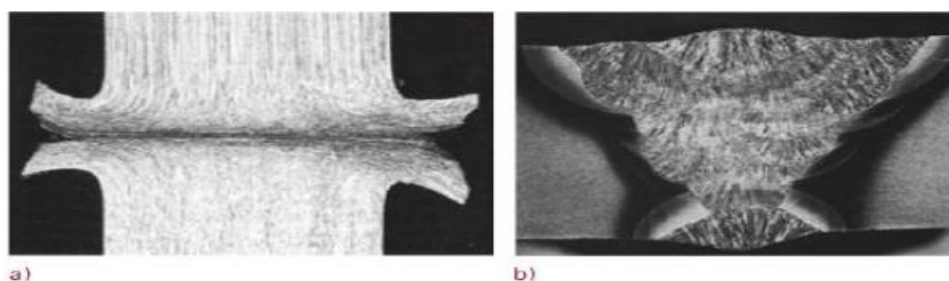


Fig. 30 -a) Soldadura no estado sólido; b) Soldadura por fusão. (Modenesi, 2012)

Os processos de soldadura por fusão são frequentemente classificados quanto à sua fonte de calor requerida para fundir materiais a unir. Os materiais mais usuais nas estruturas metálicas são os aços, cuja temperatura de fusão ronda os 1500°C, pelo que são necessárias fontes de calor muito intensas e focadas, como o arco elétrico, a resistência elétrica, o laser e feixe de eletrões. Destas, o arco elétrico é a fonte de calor mais usada, porque é fácil de manipular e barata. Consiste numa descarga elétrica entre dois elementos metálicos, o eléctrodo e a peça, onde se atingem temperaturas superiores a 5000°C.

| PROCESSO | FONTES DE CALOR | TIPO DE CORRENTE E POLARIDADE | AGENTE PROTETOR OU DE CORTE | OUTRAS CARACTERÍSTICAS | APLICAÇÕES |
|-----------------------------------|--|--|--|--|--|
| Soldagem por eletro-escória | Aquecimento por resistência da escória líquida | Contínua ou alternada | Escória | Automática/Mecanizada. Junta na vertical. Arame alimentado mecanicamente na poça de fusão. Não existe arco | Soldagem de aços carbono, baixa e alta liga, espessura ≥ 50 mm. Soldagem de peças de grande espessura, eixos, etc. |
| Soldagem ao Arco Submerso | Arco elétrico | Contínua ou alternada. Eletrodo + | Escória e gases gerados | Automática/mecaniz. ou semi-automática. O arco arde sob uma camada de fluxo granular | Soldagem de aços carbono, baixa e alta liga. Espessura ≥ 10 mm. Posição plana ou horizontal de peças estruturais, tanques, vasos de pressão, etc. |
| Soldagem com Eletrodos Revestidos | Arco elétrico | Contínua ou alternada. Eletrodo + ou - | Escória e gases gerados | Manual. Vareta metálica recoberta por camada de fluxo | Soldagem de quase todos os metais, exceto cobre puro, metais preciosos, reativos e de baixo ponto de fusão. Usado na soldagem em geral. |
| Soldagem com Arame Tubular | Arco elétrico | Contínua. Eletrodo + | Escória e gases gerados ou fornecidos por fonte externa. Em geral o CO_2 | O fluxo está contido dentro de um arame tubular de pequeno diâmetro. Automático ou semi-automático | Soldagem de aços carbono com espessura ≥ 1 mm. Soldagem de chapas |
| Soldagem MIG/MAG | Arco elétrico | Contínua. Eletrodo + | Argônio ou Hélio, Argônio + O_2 , Argônio + CO_2 , CO_2 | Automática/mecaniz. ou semi-automática. O arame é sólido | Soldagem de aços carbono, baixa e alta liga, não ferrosos, com espessura ≥ 1 mm. Soldagem de tubos, chapas, etc. Qualquer posição |
| Soldagem a Plasma | Arco elétrico | Contínua. Eletrodo - | Argônio, Hélio ou Argônio + Hidrogénio | Manual ou automática. O arame é adicionado separadamente. Eletrodo não consumível de tungsténio. O arco é constrito por um bocal | Todos os metais importantes em engenharia, exceto Zn, Be e suas ligas, com espessura de até 1,5 mm. Passes de raiz |
| Soldagem TIG | Arco elétrico | Contínua ou alternada. Eletrodo - | Argônio, Hélio ou misturas destes | Manual ou automática. Eletrodo não consumível de tungsténio. O arame é adicionado separadamente. | Soldagem de todos os metais, exceto Zn, Be e suas ligas, espessura entre 1 e 6 mm. Soldagem de não ferrosos e aços inox. Passe de raiz de soldas em tubulações |
| Soldagem por Feixe Eletrónico | Feixe eletrónico | Contínua. Alta Tensão. Peça + | Vácuo ($\approx 10^{-4}$ mm Hg) | Soldagem automática. Não há transferência de metal. Feixe de eletrões focalizado em um pequeno ponto. | Soldagem de todos os metais, exceto nos casos de evolução de gases ou vaporização excessiva, a partir de 25 mm de espessura. Indústria nuclear e aeroespacial. |
| Soldagem a Laser | Feixe de luz | | Argônio ou Hélio | Como acima | Como acima. Corte de materiais não metálicos |
| Soldagem a Gás | Chama oxi-acetilénica | | Gás (CO , H_2 , CO_2 , H_2O) | Manual. Arame adicionado separadamente | Soldagem manual de aço carbono, Cu, Al, Zn, Pb e bronze. Soldagem de chapas finas e tubos de pequeno diâmetro |

Tabela 5 – Descrição dos processos de soldadura por fusão (Modenesi, 2012)

Neste grupo estão os processos de soldadura mais usados na construção de estruturas metálicas, como Soldadura por Eléctrodo Revestido (SER), a soldadura MAG (Metal Active Gás), a soldadura TIG (gás inerte) e a Soldadura por Arco Submerso (SAS).

O aço, quando fundido reage facilmente com o oxigénio e azoto do ar dando origem a óxidos e nitretos que apresentam más propriedades mecânicas, pelo que é essencial evitar estas reacções químicas durante a soldadura (Loureiro, 2013).

Nos parágrafos que se seguem indicam-se as vantagens e desvantagens mais relevantes dos tipos de soldadura mais correntemente utilizados na construção metálica:

1. Eléctrodo Revestido (SER)

Apresenta como vantagens o facto de ser aplicável a quase todos os materiais metálicos e em todas as posições, de ser muito flexível e de poder ser utilizada em obra. No entanto, apresenta baixa taxa de deposição e obriga à limpeza da escória que se gera durante a sua execução.

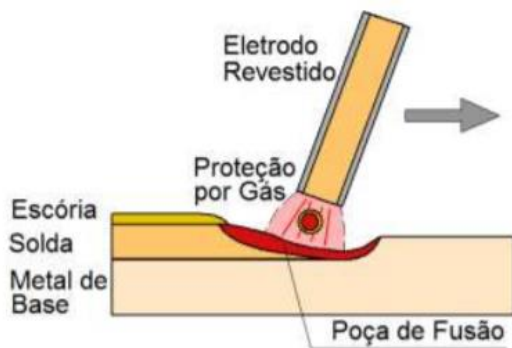


Fig. 31–A) Processo Eléctrodo Revestido (Modenesi, 2012) B) Soldadura Eléctrodo Revestido

2. MAG (MIG-MAG)

É um processo versátil, podendo ser executado em todas as posições, possui a taxa de deposição mais elevada de todos os processos manuais e pode ser automatizado. Em contrapartida, é de difícil instalação em obra e a sua taxa de deposição é inferior à dos outros processos automáticos.

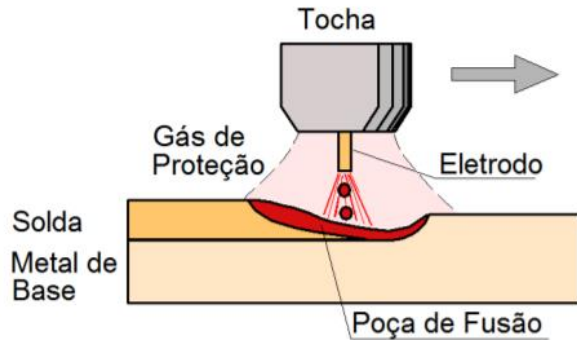


Fig. 32 - A) Processo MIG-MAG (Modenesi, 2012) B) Soldadura MIG-MAG (arq. Pessoal)

3. TIG (GTAW)

Apresenta como vantagem a sua elevada qualidade, mas está condicionada a baixas taxas de deposição, limitações de espessura, custos elevados e rendimentos muito baixos.

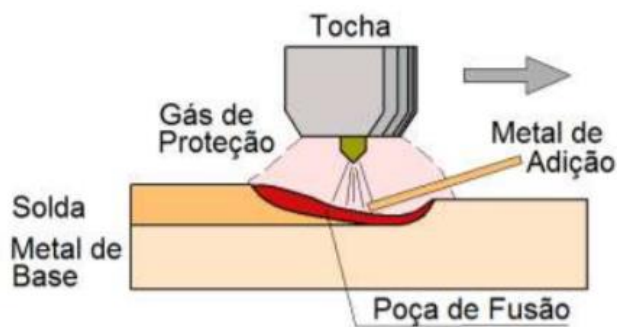


Fig. 33 – A) Processo TIG (Modenesi, 2012) B) Soldadura TIG (Arq. Pessoal)

4. Arco Submerso (SAS)

Este processo está associado a uma elevada taxa de deposição e de penetração, mas pena por ser pouco flexível na medida em que o equipamento é pesado e permite apenas uma posição, é por isso muito utilizado em oficina para união de chapas espessas.

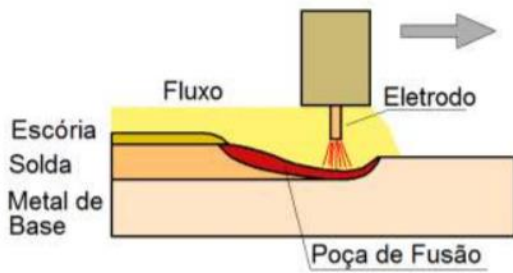


Fig. 34 – A) Processo Arco Submerso (Modenesi, 2012) B) Soldadura por Arco Submerso (Arq. pessoal)

A soldadura MAG, sem e com eletrodo fluxado (MAG FF), é a que tem maior utilização no fabrico de estruturas metálicas, e com tendência a crescer, ao contrário do SER, cuja utilização tende a diminuir devido a sua menor produtividade. A utilização da SAS tende a crescer devido à sua maior produtividade e excelente qualidade nas soldaduras.

Em suma, na construção de estruturas metálicas é utilizado um número restrito de processos de soldadura, essencialmente devido à flexibilidade e produtividade que esses processos apresentam. A seleção do processo de soldadura mais adequado para uma aplicação específica rege-se por fatores bem conhecidos, onde os fatores técnicos e económicos têm de ser considerados.

4.5.1.1 Simbologia e Preparação de Juntas Soldadas

A simbologia é extremamente útil na soldadura, tal como qualquer outro meio de referência usado em projeto, neste caso mecânico. No fundo trata-se de um código que, de uma forma simples traduz a ideia do projetista a quem tem de realizar a obra, permitindo ainda que o trabalho seja facilmente controlado por terceiros, no que toca à geometria. Em termos mundiais existem vários códigos, consoante as normas vigentes a cada país. No entanto, existem dois códigos, correspondentes às normas ISO e AWS que se destacam devido à universalização do seu uso, a primeira mais usada na Europa, enquanto a segunda se utiliza mais na América.

Com o objetivo de dar a conhecer a terminologia mais comum relativa às juntas soldadas, são mostradas seguidamente algumas figuras, onde se indica a nomenclatura habitualmente utilizada e as abreviaturas normalmente usadas, assim como a zona a que correspondem numa junta.

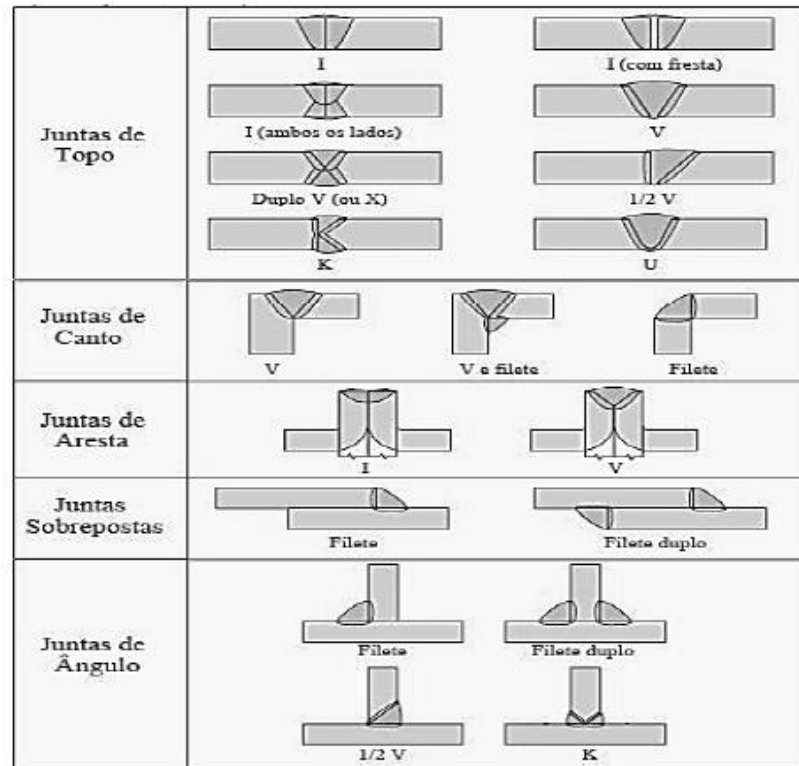


Fig. 35 - Representação esquemática de uma junta soldada e respetiva nomenclatura. (Silva F. J., 2016)

Existem ainda outros conceitos que deverão ficar desde já explicados, com vista a uma melhor relação com o tema.

De acordo com a posição relativa das peças a soldar, podem distinguir-se as seguintes juntas de soldadura:

- Junta de soldadura topo-a-topo (ou de topo);
- Junta de soldadura de ângulo (ou de canto);
- Junta de soldadura de sobreposição;
- Junta de soldadura de aresta.

Estas uniões podem ser executadas através de três tipos de soldas: solda de topo, de filete e de enchimento.

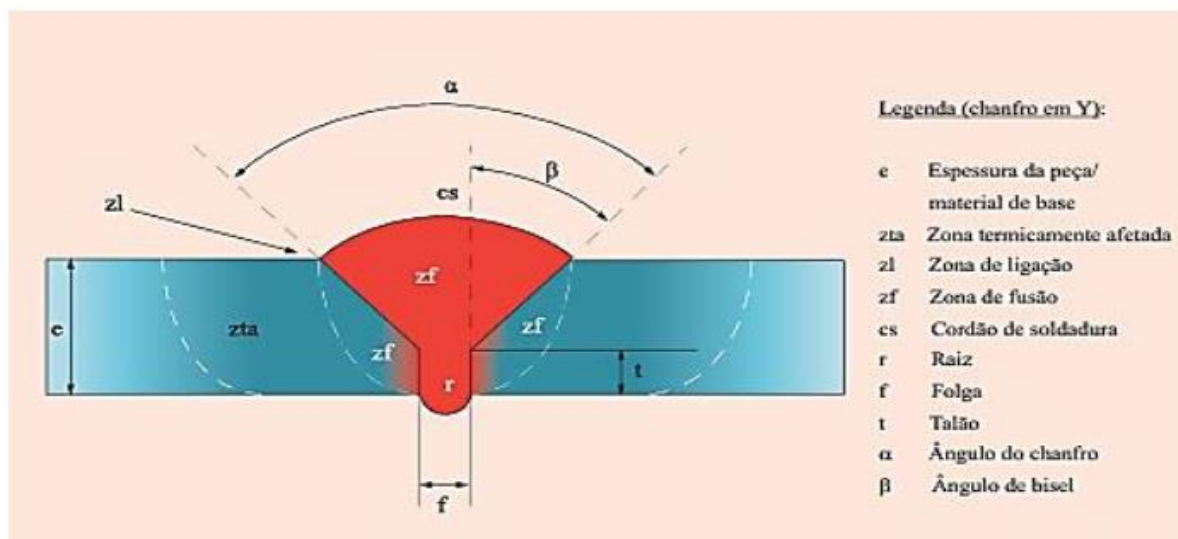
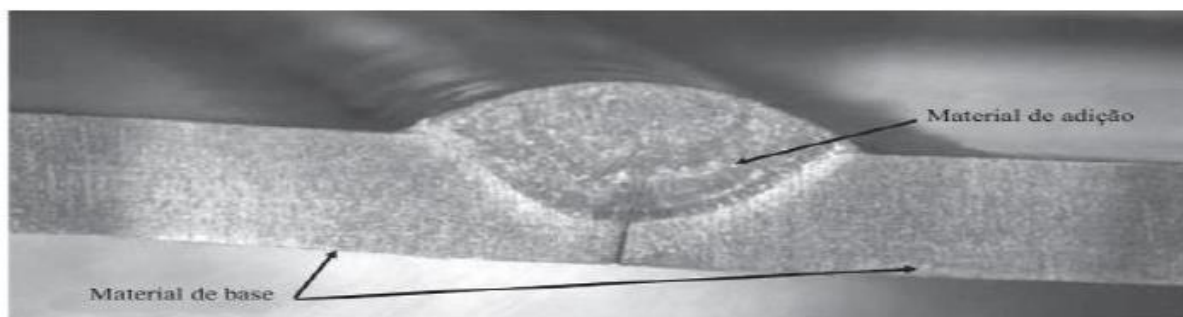


Fig. 36 - Tipos de Juntas de Soldaduras (Silva F. J., 2016)

Na tabela 6, são apresentados os tipos de juntas e as vantagens de cada uma.

| Tipo de Junta | Continuidade | Custo | Segurança | Resistência a esforços dinâmicos | Utilização | Exemplos |
|-----------------------|---|---|---|----------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Junta de Topo | Boa transmissão de esforços | Em função dos processos de soldadura | Muito boa | Muito boa (penetração total) | Muito solicitadas | Reservatórios de pressão |
| Sobreposição | Medíocre transmissão de esforços | Baixo, fácil posição das peças | Média, não permite continuidade raios x, ultra-sons | Medíocre | Pouco solicitadas | Fundos planos |
| Junta em T | Medíocre para soldaduras sem penetração | Baixo em relação á de canto e elevado para com a penetração total | Muito boa para penetração total pois permite ultra-sons | Boa | Muito utilizada em perfis | Estruturas metálicas |
| Junta de canto | Medíocre para soldaduras sem penetração | Baixo, para soldaduras sem penetração | Muito boa para penetração total pois permite ultra-sons | Boa | Muito utilizada | Vigas caixão e caixas |

Tabela 6 – Quadro comparativo de juntas soldadas.

Ainda relativamente ao próprio cordão, e no que se refere à sua geometria após execução, tanto em juntas topo-a-topo como em juntas de canto, existe terminologia própria para nos referirmos a cada zona do cordão. Este logo à partida, poderá ser liso, côncavo ou convexo (o mais comum). Depois, deverá ainda ser caracterizado em termos de altura, largura e penetração. Neste sentido, deverá ser observada a relação existente entre a geometria do cordão e restantes parâmetros geométricos normalmente utilizados na definição dos diferentes cordões de soldadura (ver figura 37).

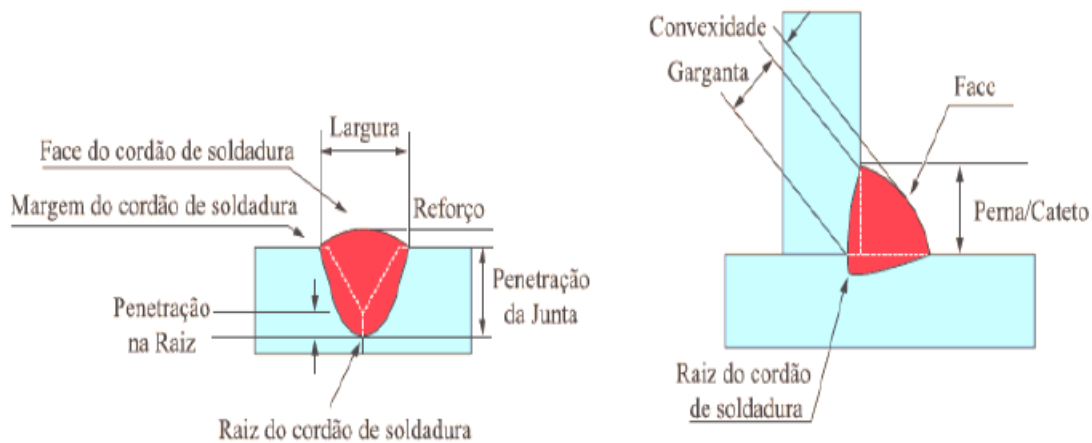


Fig. 37 - Nomenclatura relacionada com a geometria dos cordões de soldadura (Silva F. J., 2016)

A superfície interior do cordão de soldadura pode apresentar formas diversas, com secções em V, em U, em Y, etc. Na figura 38 ilustra-se a representação das dimensões do cordão segundo a ISO 2553.

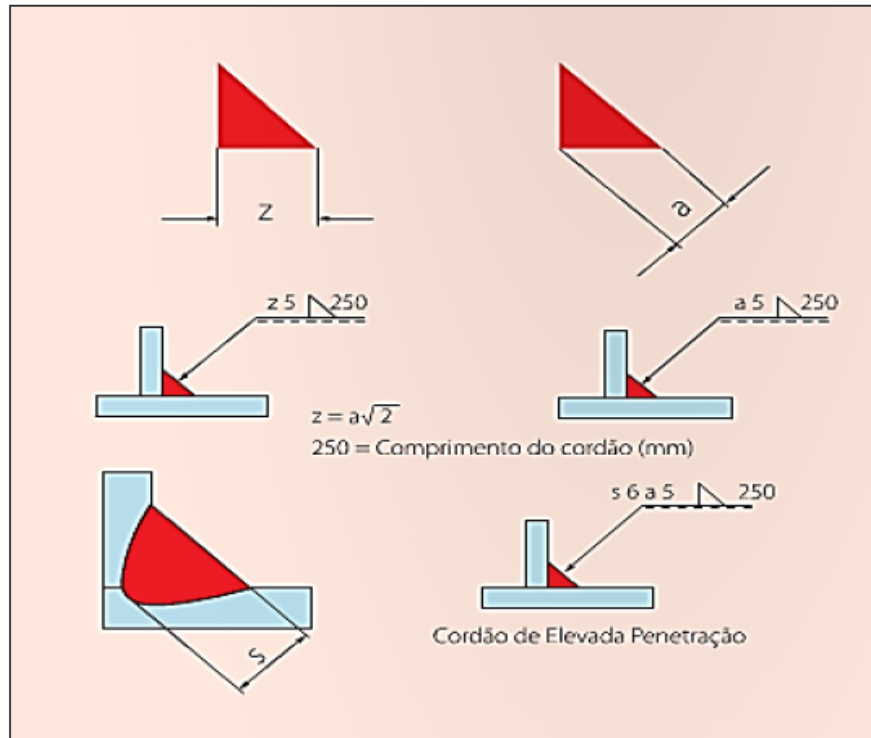


Fig. 38 - Representação das dimensões do cordão de soldadura segundo a norma ISO 2553 e AWS (z - Cateto da soldadura, a - altura da soldadura e s - soldadura + penetração) (Silva F. J., 2016)

A representação de uma ligação soldada entre duas peças deve conter as seguintes indicações:

- O local da soldadura;
- O tipo e natureza do cordão;
- As dimensões do cordão;
- Outras informações.

Em desenho, as juntas soldadas podem ter uma representação completa ou uma representação simbólica (a mais usada).

Na representação completa as normas gerais de representação e de cotação do desenho deverão ser respeitadas, como é visível na figura 39.

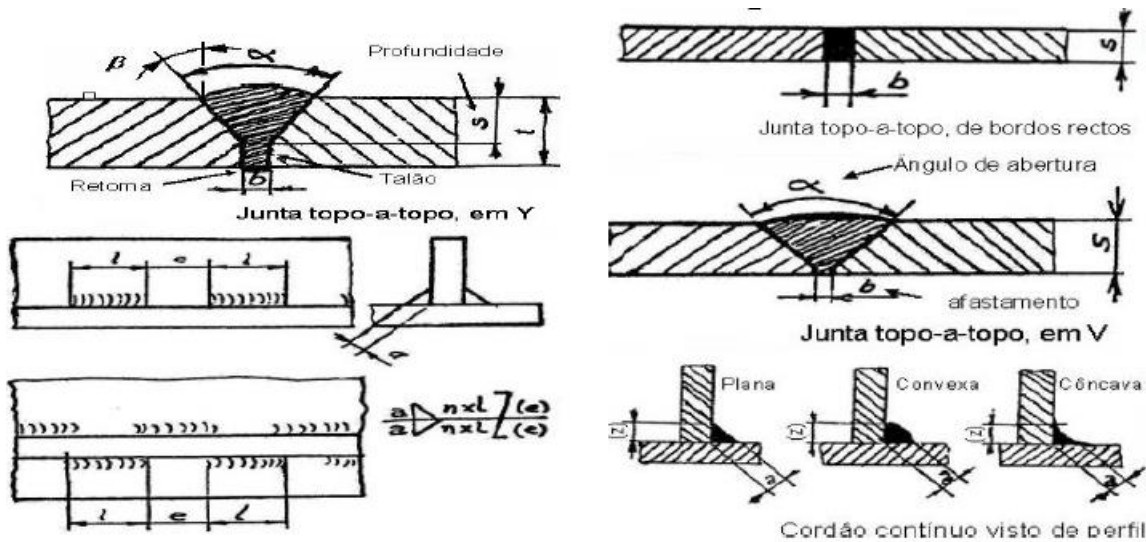


Fig. 39 - Representação completa (Silva F. J., 2016)

A representação simbólica é a mais conveniente para as juntas soldadas correntes, pois fornece todas as indicações necessárias para definir uma determinada junta, sem sobrecarregar o desenho com notas ou vistas complementares.

Esta representação simbólica é variável consoante a norma que se está a interpretar. Embora existam algumas outras diferenças será de salientar essencialmente três que, pela sua importância e frequência, são dignas de registo:

Interpretação do lado da junta: na norma ISO 2553 é necessário ter em atenção que a linha a cheio (continua) representa ao lado pelo qual se efetuará a soldadura (lado para onde aponta a seta), enquanto a linha a tracejado representa o lado contrário àquele pelo qual é realizada a soldadura (lado contrário aquele que aponta a seta).

Na norma AWS, como só existe uma linha a cheio, tudo o que está representado por cima da linha diz respeito ao lado contrário da junta para onde aponta a seta, enquanto a simbologia colocada na parte inferior da linha diz respeito ao lado contrário da junta para onde aponta a seta.

Nas juntas compridas com cordões interrompidos, a forma a indicar o comprimento dos cordões e o intervalo entre eles também é significativamente diferente. Na norma ISO indica-se o número de cordões, o comprimento dos mesmos e a distância que medeia dois cordões consecutivos, enquanto na norma AWS indica-se apenas o comprimento de cada cordão e o passo entre cordões e distancia entre dois pontos homólogos de cordões consecutivos. (Silva F. J., 2016)

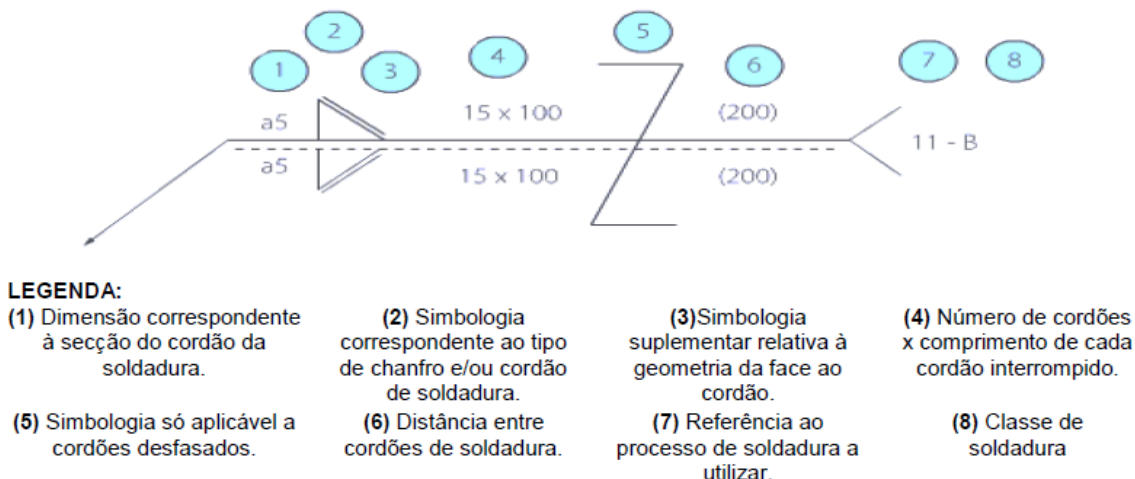


Fig. 40 - Representação Esquemática e Teórica da simbologia Segundo a norma ISO 2553 (Silva F. J., 2016)

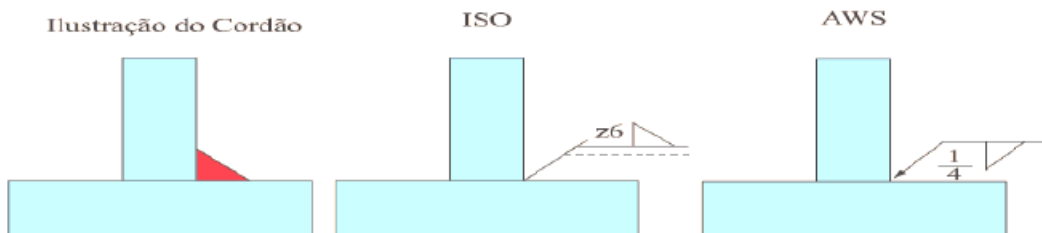


Fig. 41 - Representação da simbologia correspondente a uma soldadura de canto, comparando as normas ISO 2553 e AWS. (Silva F. J., 2016)



Fig. 42 - Representação Esquemática e teórica da simbologia Segundo a Norma AWS. (Silva F. J., 2016)

Dependendo essencialmente da espessura dos materiais de base a soldar, a preparação da junta pode ser uma operação extremamente importante para a qualidade global da soldadura. A preparação das juntas, para além da limpeza obrigatória das superfícies a unir, implica na maior parte das vezes a realização de chanfros, os quais podem ser produzidos nas peças através de maquinaria por arranque de apara ou através de rebarbagem.

Os símbolos elementares devem ser combinados para soldaduras realizadas pelos dois lados (juntas com preparação de abertura dupla) de modo a que os símbolos elementares aplicáveis sejam dispostos simetricamente, em relação à linha de referência.

Depois temos os símbolos Suplementares, que caracterizam a forma da superfície exterior ou a forma da soldadura.

A ausência de um símbolo suplementar significa que a forma da superfície da soldadura não necessita de ser indicada com precisão.

Outro aspeto na pormenorização da soldadura é o facto de os projetos indicarem, na maior parte dos casos, a definição da espessura da garganta do cordão com 0,7 da menor espessura do elemento a ligar. Esta indicação, no caso de projetos que utilizem chapas de grandes espessuras, pode trazer custos muito elevados e desnecessários. Assim, recomenda-se o cálculo e pormenorização de cada cordão neste tipo de situação, de forma a obter baixos custos de execução.

É essencial para a boa execução das soldaduras que as peças desenhadas apresentem toda a informação necessária ao seu fabrico, e em particular, toda a informação relativa à soldadura.

4.5.1.2 Ensaios e Defeitos de Soldaduras

A soldadura apesar de ser um processo largamente utilizado e com benefícios enormes para a indústria metalomecânica no seu global, é um processo extremamente suscetível à geração de defeitos, os quais podem acarretar consequências extremamente graves em serviço. Isso implica que a aplicação da soldadura nem sequer seja equacionada em alguns tipos de produtos, dadas as dificuldades em se obter peças de elevado nível de confiabilidade, sem a necessidade de passar por um rigoroso controlo de qualidade.

Este controlo de qualidade corresponde ao conjunto das ações que visam garantir que a construção soldada é projetada e construída de acordo com as especificações constantes dos códigos de construção e com especificações adicionais acordadas pelo cliente. Este controlo é geralmente responsabilidade do fabricante. O controlo de qualidade estruturas soldadas é uma atividade muito complexa, e regulada por normas específicas como por exemplo a NP EN 1090-2:2008+A1 2015, e à qual estão associadas muitas outras normas.

Essa complexidade resulta da multiplicidade de ações requeridas nas atividades de soldadura, nas quais algumas podem ser realizadas antes da soldadura, outras durante e outras só depois, como ilustrado na figura 43.



Fig. 43 - Ações a desenvolver durante a avaliação da qualidade na construção soldada (Silva F. J., 2016)

A fase antes corresponde à verificação do caderno de encargos e do projeto, da aplicabilidade das normas e de outros requisitos legais, como a existência da qualificação de procedimentos de soldadura qualificação de soldadores. As fases durante e após correspondem à verificação de certificados dos materiais, à verificação dos procedimentos de fabrico e especificações da soldadura e à realização dos testes destrutivos e não destrutivos previstos no programa de qualidade, bem como à produção dos registos de verificação e ensaio. Grande parte das ações correspondem ao processo burocrático que visa garantir a rastreabilidade dos materiais e processos, como a verificação dos certificados dos materiais ou dos soldadores, das especificações de soldadura ou mesmo a elaboração do dossier da qualidade (ver figura 44).

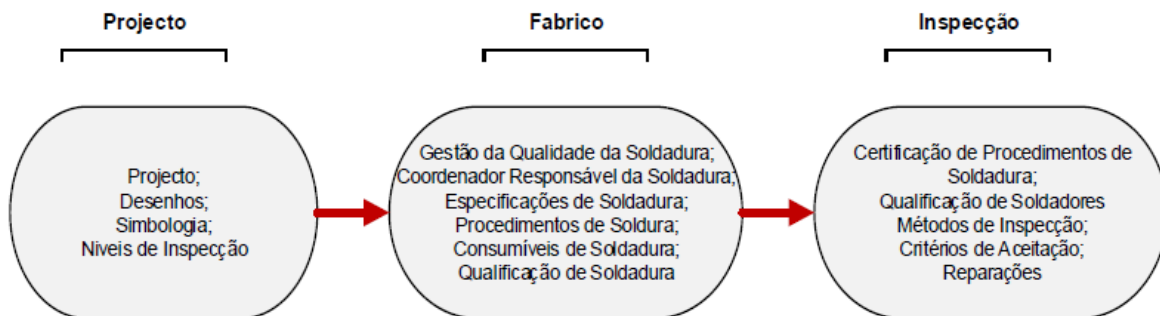


Fig. 44 - Informação necessária para garantir a qualidade da soldadura. (Mista, 2012)

Quando não se executam as soldaduras com os cuidados necessários, tanto a nível técnico como pratico, surgem defeitos que se classificam como falta de penetração, falta de fusão, porosidades,

inclusões de escória, fissuração na solidificação, fissuração a frio, fissuração por reaquecimento e arrancamento lamelar.

Para se avaliar a qualidade das soldaduras pode recorrer-se a processos destrutivos e a processos não destrutivos.

Os processos destrutivos incluem, entre outros, análises ao microscópio, ensaios de dureza e ensaios de tração. Os processos não destrutivos assentam na análise visual e na realização de ensaios com líquidos penetrantes, com partículas magnéticas, por radiografias e por ultrassons. A tabela 7 descreve os ensaios não destrutivos:

| Ensaio | Objetivo | Aplicações | Limitações |
|------------------------------|---|---|--|
| Líquidos Penetrantes | Deteção de fendas, poros ou outros defeitos (superficiais). | Todos os materiais porosos e não absorventes (método rápido e económico). | Só defeitos superficiais; |
| | | | Fendas de largura superior a alguns micrómetros; |
| | | | Não determina profundidade dos defeitos. |
| Partículas Magnéticas | Deteção de fendas, poros ou outros defeitos (superficiais ou pouco abaixo da superfície). | Materiais ferromagnéticos; | Superfícies limpas e pouco rugosas; |
| | | Formas simples e retangulares. | Desmagnetização das peças e remoção do pó. |
| Radiografias | Deteção de fendas, poros, inclusões, colagens ou outros defeitos (superficiais ou no interior dos corpos). | Metais, não metais e compósitos. | Soldaduras de topo; |
| | | | Acesso dos dois lados; |
| | | | Exige condições de segurança devido à radiação; |
| | | | RX ate 50mm e Ry para maiores espessuras; |
| | | | Não deteta defeitos planares perpendiculares à direção do feixe de radiação. |
| Ultra-Sons | Deteção de fendas, poros, inclusões, colagens ou outros defeitos (superficiais ou no interior dos corpos); Medições de espessuras. | Metais, não metais e compósitos; Todas a geometrias. | Rugosidade superficial reduzida; |
| | | | Peças finas são difíceis de examinar; |
| | | | Grão muito grosseiro dificulta a inspeção; |
| | | | Necessita de fluido de acoplamento; |
| | | | Falhas acima de 0,01mm. |

Tabela 7 – Ensaios não destrutivos de soldadura (Modenesi, 2012)

Quer para soldaduras executas em oficina, quer para as soldaduras efetuadas em obra, a equipa de fiscalização deverá aprovar a entidade proposta pelo empreiteiro para a realização dos ensaios de soldadura, que emitirá os respetivos relatórios de ensaio às soldaduras.

Há uma técnica, de fácil aplicação, que deve ser sempre utilizada que é inspeção visual, que se realiza a todos os momentos de produção, e que proporciona indicações imediatas, que

frequentemente não precisam de interpretação elaborada. É aplicado com frequência na deteção de defeitos como:

- Falta de penetração;
- Bordos queimados;
- Sobre espessura e falta de enchimento dos cordões de soldadura;
- Defeitos superficiais (exemplos: poros e fissuras).

A inspeção visual consiste em iluminar a peça com uma fonte de luz e de seguida a mesma é inspecionada pelo inspetor. Este deverá ser o primeiro ensaio a ser realizado, pois é de baixo custo e é rápido.

A norma ISO 17637 define requisitos mínimos para a execução de inspeção visual em soldadura, estabelecendo alguns tópicos importantes que vale a pena referir:

- Mínimo de iluminação na superfície a inspecionar de 350 lux, no entanto recomenda a utilização de 500 lux;
- Ângulo de visualização não deve ser inferior a 30°;
- Distância de visualização não superior a 600 mm exceto quando tal não for possível por condicionantes externas ao ensaio.

A inspeção visual pode ser dividida em dois métodos:

1. Inspeção visual direta – resulta da observação direta, na qual pode utilizar, ou não, equipamentos auxiliares como por exemplo lupas e microscópios.
2. Inspeção visual indireta – resulta da aplicação de técnicas de visão artificial como meio auxiliar. Os requisitos fundamentais para a obtenção de bons resultados, com este tipo de inspeção, são a limpeza e a iluminação da peça a examinar.

Para auxílio da inspeção visual e registo/medição das descontinuidades verificadas aquando da realização do ensaio não destrutivo é necessário o recurso a vários equipamentos de forma a poder fazer uma correta avaliação da peça como por exemplo os equipamentos apresentados na figura 45.

Uma descontinuidade é uma interrupção da estrutura típica de uma junta soldada, podendo-se considerar como a falta de homogeneidade de características físicas, mecânicas ou metalúrgicas do material ou da soldadura.

Um defeito de soldadura tem origem numa descontinuidade e que ultrapassa o critério de aceitação estabelecido.

Na figura 46 está representado um fluxograma exemplificativo sobre quais as etapas e a distinção entre as definições abordadas anteriormente.

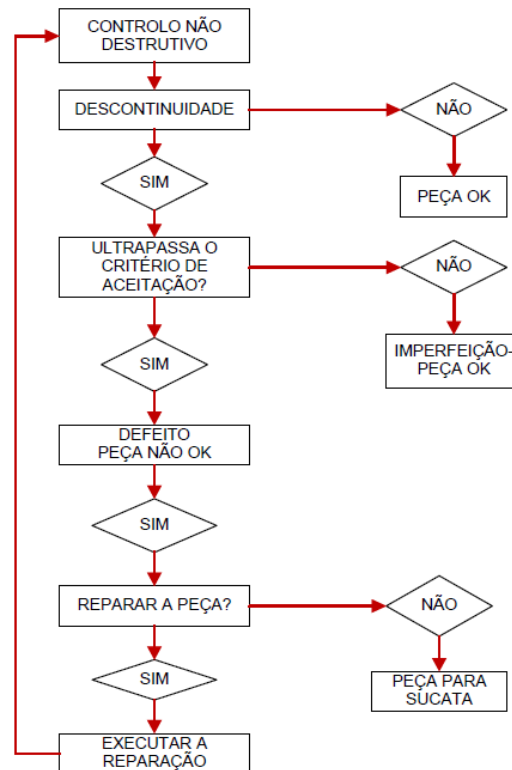


Fig. 46 - Etapas de controlo Não Destrutivo (Mista, 2012)

A soldadura, apesar de ser um processo largamente utilizado e com benefícios enormes para a indústria metalomecânica no seu global, é um processo extremamente suscetível à geração de defeitos, os quais podem acarretar consequências extremamente graves em serviço.

Entre as causas mais comuns para o aparecimento de defeitos de soldadura figuram as fracas condições na execução de projeto (45%), os erros do operador, onde se inclui a parametrização do processo (32%), a má execução do processo no que diz respeito à sua técnica e processo selecionado (12%), má conjugação do binómio material de adição (10%) e ainda má preparação da junta (5%). (Clifford, 2006)

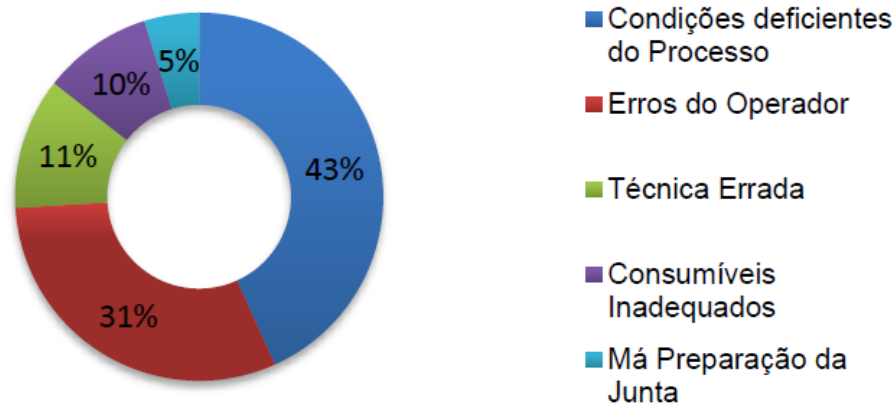


Fig. 47 - Principais causas para o aparecimento de defeitos de soldadura (Clifford, 2006)

A maior parte das ligações soldadas são efetuadas em oficina. Um dos problemas que mais afeta as ligações soldadas é a falta de ductilidade do material de adição; todavia, este problema pode ser resolvido se forem respeitadas determinadas regras. Em ligações estruturais deve-se usar sempre soldadura por arco. Quando se adota este procedimento, as propriedades mecânicas do metal de adição devem ser compatíveis com as do metal de base e a espessura das peças a ligar deve ser igual ou superior a 4mm (na soldadura de elementos de paredes muito finas pode haver a necessidade de se aplicar regras especiais).

Os defeitos de soldadura tem como característica a amplificação das tensões presentes nas soldaduras devido à redução da área resistente que a estes se encontra associada, ou seja, quanto maior o defeito, maior a redução da área resistente da soldadura e consequentemente menor a resistência da soldadura as solicitações. Por sua vez estas descontinuidades apresentam diversas características que devem ter sido em conta, sendo estas: a sua dimensão, a sua intensidade, orientação em relação à soldadura e sua respetiva localização na soldadura.

A classificação dos defeitos de soldadura não é consensual assim, neste caso, considerou-se que os defeitos das soldaduras seriam classificados como defeitos geométricos quando são imperfeições nas dimensões da ligação soldada, ou na forma dos cordões de soldadura, cuja gravidade irá depender essencialmente da aplicação e defeitos intrínsecos quando são descontinuidades na micro ou macroestrutura, na zona da soldadura. Normalmente, estes defeitos estão associados à falta de material ou à presença de material estranho à soldadura. (Silva F. J., 2016)

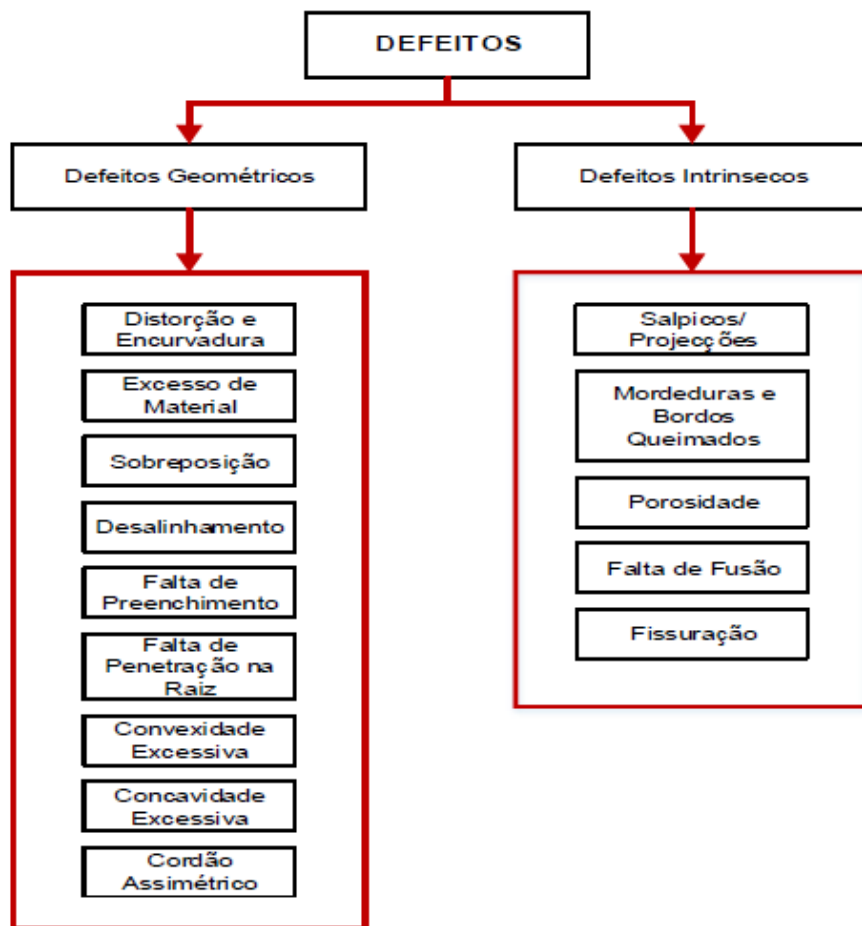


Fig. 48 - Principais defeitos de soldadura (Mista, 2012)

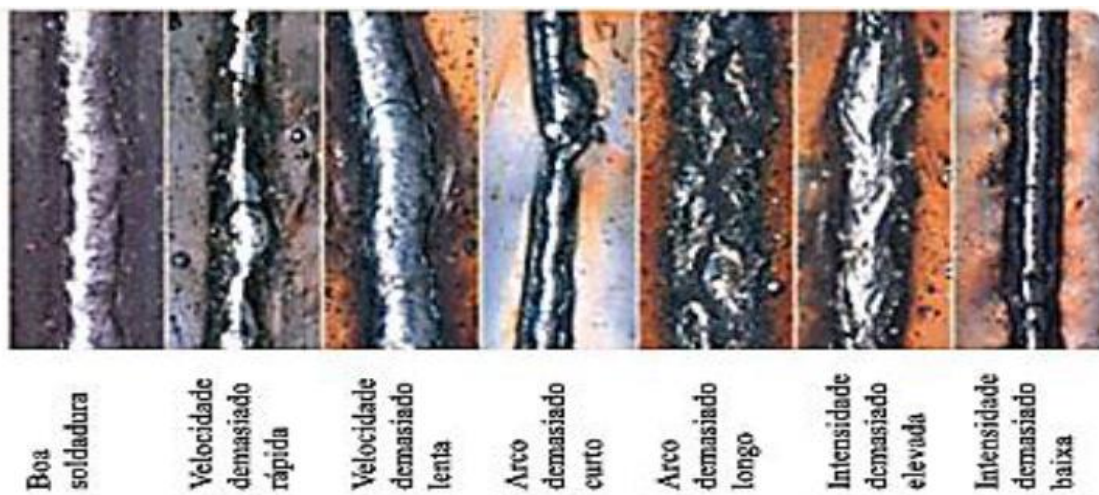


Fig. 49 - Forma dos cordões de soldadura em função dos erros de regulação eventualmente cometidos sobre cada um dos parâmetros de soldadura no processo de Eléctrodo revestido (Silva F. J., 2016)

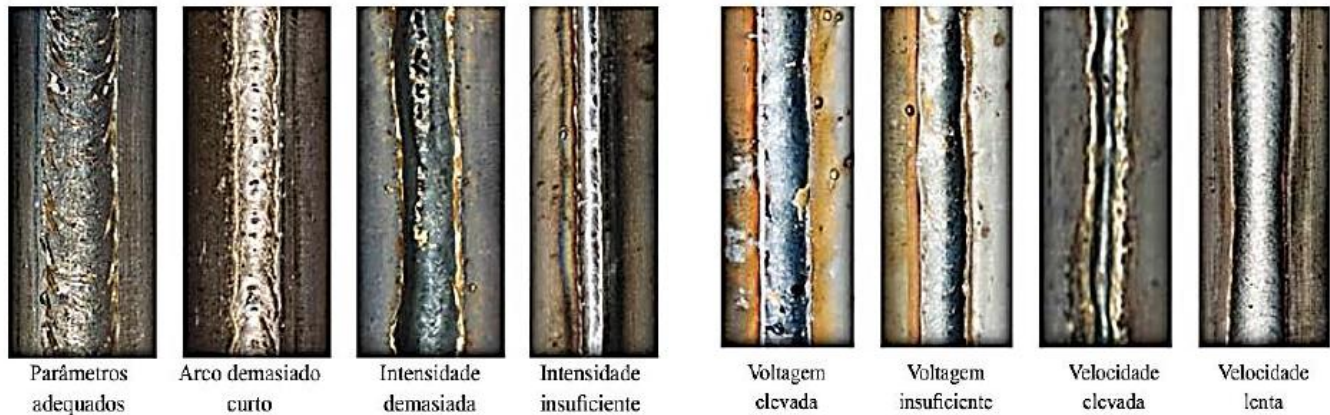


Fig. 50 - Influência do desvio isolado de determinados parâmetros no aspeto dos cordões de soldadura no processo MAG (Silva F. J., 2016)

É também necessário referir que todos os trabalhos de reparação devem ser rigorosamente controlados, uma vez que as reparações efetuadas podem originar defeitos ainda mais gravosos.

De referir que algumas anomalias permanecem sempre nas peças soldadas:

Umás são aceites e consideradas como tendo menor relevância;
Outras escapam ao controlo da qualidade.

4.5.1.3 Recomendações para Execução de Soldaduras

Num trabalho com estes contornos interessa evidenciar algumas recomendações que devem ser atendidas aquando da realização de trabalhos de soldadura. Estas encontram-se descritas de seguida e são de extrema utilidade para a definição de verificações a empreender por parte da equipa de fiscalização. (Martins, 2008)

O trabalho de soldadura, no qual deve ser utilizada aparelhagem conveniente, só poderá ser executado por pessoal devidamente qualificado segundo a norma em vigor já identificada, devendo os soldadores comprovarem documentalmente essa certificação;

As características da corrente, a natureza e o diâmetro dos eléctrodos devem ser apropriados à qualidade dos materiais e ao tipo de ligações a efetuar;

Tanto as zonas a soldar como os eléctrodos devem estar bem secos;

As superfícies destinadas a receber soldadura deverão não só estar bem secas como bem limpas, isentas de corpos estranhos, ferrugem, escórias e gordura;

No caso de o cordão ser obtido por várias passagens, deve proceder-se antes de cada nova passagem, à repicagem das escórias por um processo adequado e à limpeza com escova de arame;

Os cordões devem ficar isentos de irregularidades, poros, fendas, cavidades, ou outros defeitos;



Na realização de soldaduras devem-se tomar as precauções necessárias para reduzir as tensões/deformações residuais permanentes, bem como garantir que as peças ficam nas posições pretendidas;

Deve-se evitar ou reduzir ao indispensável o número de soldaduras a efetuar fora de oficina; Antes de dar início às operações de soldadura, de acordo com o Plano de Soldadura (se existir), deve o empreiteiro realizar um programa de trabalhos indicando os consumíveis e os parâmetros de soldadura (intensidade, tensão e velocidade), a preparação de chanfros, etc.;

Deve evitar-se a aplicação excessiva de soldadura num mesmo local, bem como o estabelecimento de variações bruscas de secção, nomeadamente em elementos soldados de forma periférica;

A disposição e a ordem de execução devem ser estabelecidas de modo a reduzir-se os estados de tensão resultantes da própria operação de soldadura, simultaneamente facilitando que as peças fiquem na posição pretendida;

As soldaduras não serão arrefecidas rapidamente, exigindo-se uma descida gradual e lenta da temperatura, pelo que será exigida proteção às soldaduras, contra arrefecimento brusco, em caso de condições atmosféricas adversas;

O metal depositado tem que ficar bem ligado aos materiais a soldar, sem que se tenha queimado o material dos bordos;

A cada passagem, e antes de iniciado o novo cordão, a superfície do cordão realizado deve ser cuidadosamente desembaraçado de escórias, utilizando a picadeira e a escova de aço ou outro método conveniente, a fim de se verificar a existência de fissuras, poros ou outros defeitos. Esta operação será executada até completo desaparecimento dos defeitos de compacidade e tomar-se-ão os mesmos cuidados quando houver que prosseguir um cordão interrompido ou ligar dois já executados;

Nos cordões de soldadura topo a topo, e sempre que seja possível construtivamente, proceder-se-á à esmerilagem da raiz e execução do respetivo cordão;

Em caso de comprovada necessidade, poderá exigir-se o tratamento térmico de peças;

As dimensões dos cordões de soldadura devem satisfazer, além do prescrito nas peças escritas e desenhadas do projeto e da legislação em vigor, os seguintes condicionamentos:

A espessura dos cordões não deve, em qualquer caso, ser inferior a 3mm;

A espessura dos cordões de angulo não deve ser superior a 0,7 da menor espessura dos elementos a ligar;

Os cordões de topo, contínuos, devem ocupar toda a extensão da justaposição;

Os cordões de angulo contínuos não devem, em geral, ter comprimento inferior a 40 nem superior a 60 vezes a espessura do cordão;

Nos cordões de topo descontínuos, o comprimento de cada troço não deve ser inferior a 4 vezes a espessura do elemento mais fino a ligar e o intervalo entre dois troços sucessivos não deve exceder 12 vezes aquela espessura;

Nos cordões de angulo descontínuos o comprimento de cada troço não deve ser inferior a 4 vezes a espessura do elemento mais fino a ligar;

O intervalo entre dois troços sucessivos não deve exceder 16 vezes a espessura do elemento mais fino, no caso de elementos sujeitos a esforços de compressão e 24 vezes essa espessura, no caso de elementos sujeitos a esforços de tração;

Em cordões de ângulos descontínuos, quando os troços estão colocados alternadamente de um lado e de outro da aresta de ligação, os intervalos indicados são considerados como se estivessem em linha;

Quando se dispõem cordões de soldadura opostos, a chapa intermédia deverá ter a espessura mínima de 7mm;

Os cordões de angulo aplicados nos bordos arredondados de perfis, não deverão entranhar mais do que 75 por cento da espessura do perfil no bordo;

A superfície aparente dos cordões deverá ser plana, nunca côncava, podendo contudo ser convexa desde que a flecha apresente o limite máximo de 2mm;

Poderá ser exigida a aprovação prévia pela fiscalização da sequência prevista para a soldadura e tipo de eléctrodo a utilizar.

Se for detetada uma soldadura defeituosa, todas as soldaduras existentes no elemento serão submetidas a inspeção. Por outro lado, proceder-se-á ao controlo de todas as soldaduras refeitas, reconhecidas inicialmente como defeituosas.

A fiscalização poderá exigir sondagens nos cordões que lhe afigurem defeituosos, os quais serão refeitos por soldadura.

4.5.2 Ligações aparafusadas

As ligações aparafusadas são também uma etapa fundamental na execução de estruturas metálicas, são mais utilizadas em obra, como já foi referido, pois pelos fatores económico e pratico. O seu enquadramento normativo encontra-se no capítulo 8 da EN 1090-2.

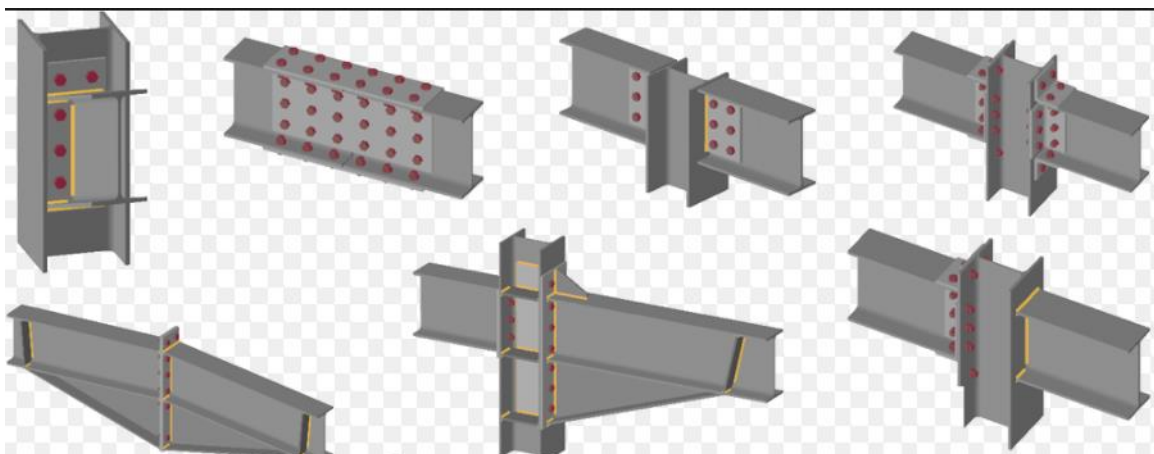


Fig. 51 - Tipos de ligações aparafusadas mais usuais em estruturas metálicas (Martins, 2008)

4.5.2.1 Parafusos e Execução das Ligações Aparafusadas

As porcas e anilhas estão associadas aos parafusos neste processo de montagem de estruturas metálicas. Na tabela 8 encontram-se os diâmetros mais usuais, o diâmetro respeita a medida exterior do roscado:

| Design. | Diametro nominal db (mm) | Área nominal A (mm ²) | Área resistente As (mm ²) |
|---------|--------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| M8 | 8 | 50,3 | 36,6 |
| M10 | 10 | 78,5 | 58,0 |
| M12 | 12 | 113 | 84,3 |
| M14 | 14 | 154 | 115 |
| M16 | 16 | 201 | 157 |
| M18 | 18 | 254 | 192 |
| M20 | 20 | 314 | 245 |
| M22 | 22 | 380 | 303 |
| M24 | 24 | 452 | 353 |
| M27 | 27 | 573 | 459 |
| M30 | 30 | 707 | 561 |

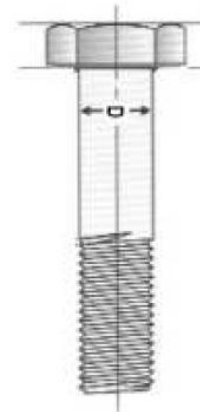


Tabela 8 – Diâmetros mais usuais de parafusos para estruturas metálicas (Martins, 2008)

Normalmente utilizam-se estes conjuntos de parafuso, porca ou fêmea e anilhas comuns, mas dependendo da situação poder-se-á empregar conjuntos especiais.

a norma EN 1090-2 identifica como parafusos especiais, o parafuso de cabeça embebida, os parafusos e cavilhar ajustados e os parafusos injetados.

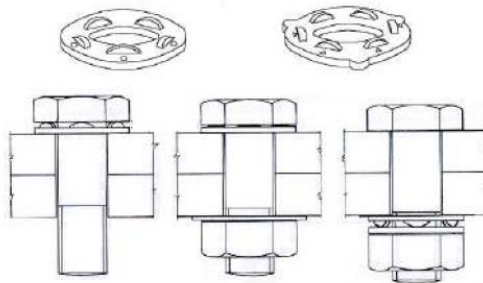


Fig. 52 - Parafusos com anilhas especiais (Martins, 2008)

Antes da colocação dos parafusos a fiscalização deve efetuar a vistoria das furações, no sentido de verificar se todos os furos estão conformes e ordenar, caso tal não se verifique, a execução das correções convenientes. Neste processo destaca-se:

No caso de furos desalinhados que não permitam a colocação adequada dos parafusos respetivos, deve-se contactar o projetista para que se possa empregar o parafuso com o diâmetro seguinte. Nesta situação deve-se proceder à furação dos elementos a ligar para o novo parafuso, respeitando-se sempre as distâncias mínimas regulamentares ao bordo da chapa, definidas na EN 1993-1-8;

Não poderão ser empregues processos térmicos na execução das novas furações sem o consentimento expresso da fiscalização (com eventual consulta do projetista).

Para a correta execução das Ligações Aparafusadas, recomenda-se:

Os parafusos a aplicar têm de ser, para cada caso, os da classe referida nos desenhos do projeto;

Os parafusos devem ser munidos de anilhas, em cuja espessura deve terminar a parte roscada, só se podendo dispensar o uso de anilhas desde que as ligações sejam pouco importantes e se verifique eu a zona lisa da arreigada do parafuso é suficiente para transmitir à chapa os esforços secundários nos parafusos;

No caso de as superfícies sobre as quais se faz o aperto dos parafusos não serem normais ao eixo destes, devem-se colocar anilhas de cunha, de modo a que o aperto não introduza esforços secundários nos parafusos;

Sempre que se verifiquem condições que possam conduzir ao desaperto dos parafusos em serviço, por exemplo vibrações, devem usar-se dispositivos que impeçam esse desaperto, tais como anilhas de mola ou contraporcas;

O roscado dos parafusos deve sobressair pelo menos um filete das respetivas porcas;

O aperto dos parafusos deve ser suficiente para garantir a eficiência das ligações, tendo-se em atenção que o aperto exagerado produz estados de tensão desfavoráveis nos parafusos;

As emendas correspondem a ligações que causam maiores problemas, visto que as tolerâncias são mínimas e as peças a ligar possuem espessuras diferentes. Esta diferença não pode ultrapassar 2mm e no caso de ser uma ligação em pré-esforço deve ser de 1mm.

Em relação às condições de aperto, para ligações correntes (não pré-esforçadas), sugere-se:

Cada conjunto de parafusos deve ser apertado na totalidade até a condição “snug-tight” (resulta do esforço de uma pessoa através de uma chave normal), sem esforçar demasiado os parafusos;

Para conseguir este estado é necessário, em grupos grandes, fazer vários ciclos, do interior para o exterior;

São admitidas folgas até 2mm no contacto se a espessura dos elementos a ligar é elevada (espessura superior a 8mm para perfis);

Devem adotar-se precauções especiais no caso de parafusos curtos.

Ainda em relação às condições de aperto, mas para ligações pré-esforçadas:

As superfícies dos elementos a ligar devem ser cuidadosamente limpas de quaisquer matérias suscetíveis de provocar uma diminuição do atrito entre as superfícies (ferrugem, gordura, pintura, água, etc.). A limpeza será feita a jato de areia ou à chama, de características adequadas, devendo executar-se a montagem da ligação após algumas horas, de modo a evitar que as superfícies se oxidem;

Os parafusos devem ser munidos de anilhas, uma do lado da cabeça e outra do lado da porca. Mediante justificação, e com exceção dos parafusos de classe 10.9, a primeira pode ser eliminada em parafusos cujas cabeças possuam dimensões estudadas de forma que possam transmitir, com segurança, às chapas o pré-esforço instalado nos parafusos;

Caso seja necessário um maior ajuste no aperto pode colocar-se mais anilhas, no máximo 3 ou a combinação necessária para que não ultrapasse os 12mm, colocando-se estas do lado da peça que se pretende fixar;

Os diâmetros, posicionamentos e comprimentos dos parafusos estão especificados nas normas, e não deve ser utilizado nenhum parafuso cujo diâmetro não esteja devidamente regulamentado;

Os furos não devem exceder o diâmetro nominal dos parafusos, tendo apenas uma folga com tolerância especificada no artigo e norma aplicável;

As porcas quando são aplicadas nos parafusos devem enroscar facilmente, devendo o aplicador conseguir enroscar com a mão, sem necessidade de recorrer ao auxílio da chave (até que a porca encoste na anilha ou na peça a ligar);

As anilhas colocadas por baixo das cabeças dos parafusos tem de ter um chanfre, que deve estar de acordo com a norma EN 14399-6, sendo que as anilhas colocadas por baixo das porcas têm de estar de acordo com o especificado na norma EN 14399-5 (Martins, 2008).

Antes de proceder ao aperto a fiscalização deverá receber do empreiteiro os certificados de calibração das chaves dinamométricas, tendo esta regulação de ser efetuada em laboratório avaliado e reconhecido. O aperto dos parafusos deve seguir os seguintes procedimentos:

Depois da verificação do ajustamento das peças a ligar, são colocados todos os parafusos da ligação e tem início o aperto com chave dinamométrica, progressivamente, sem pancadas e sem retrocesso;

Os parafusos devem ser apertados até 75% do momento de aperto definitivo e assim devem permanecer pelo menos 3 horas. O aperto deve ser dado na porca, mantendo imóvel a cabeça do parafuso;

O encosto das superfícies em contacto será verificado visualmente, na periferia e nos furos de ligação (em caso de necessidade aplicar um aperto suplementar nas zonas onde o encosto pareça duvidoso);

Os parafusos serão então apertados até 100%, sempre pela mesma ordem, iniciando-se pelos parafusos centrais e prosseguindo no sentido rotativo dos ponteiros do relógio;

Na medida do possível as uniões do mesmo tipo serão apertadas pela mesma chave, para um mesmo diâmetro de parafuso. (Martins, 2008)



Fig. 53 - Exemplo de uma chave dinamométrica

Por ultimo, salvo indicações do contrário, os parafusos devem ser limpos e receber duas demãos de primário com espessura de 30 microns cada, sendo pintados posteriormente.

4.6 Expedição e Transporte

A operação de transporte deve ser estruturada como todas as restantes, pois o local de fabrico, normalmente, não coincide com o local de montagem. Estas operações são decisivas para o cumprimento dos prazos da obra e a falta de qualidade na sua execução pode ditar a rejeição de peças na receção em obra.

É por isso, conveniente que a fiscalização se encontre presente nestas etapas que podem ser cruciais para o correto desenrolar da obra.

O planeamento do transporte é essencial para o sucesso da obra, dependendo da disponibilidade de peças prontas na fábrica que possam ser enviadas à obra. De seguida, tem de ser feita uma análise do trajeto e das limitações dimensionais e de peso.

O transporte de maior relevância acontece na fase em que as peças já estão pintadas e são transportadas para a obra. Pois, estando já as peças pintadas e tratadas qualquer descuido pode originar cortes e amolgadelas.

Pode-se enumerar os aspetos mais relevantes para o planeamento e execução do transporte das peças:

Escolha da modalidade de transporte mais adequada para vencer a distância entre a fábrica e a obra (analisar disponibilidade de meios e vias de transporte no trajeto);

Análise do veículo mais conveniente para o transporte, verificando-se limitações dimensionais, capacidade de carga, rendimento, localização geográfica, prazos de execução, etc.;

Define-se por rendimento a quantidade de peças transportadas por viagem ou mesmo o menor custo por tonelada transportada;

A capacidade das gruas de carga e descarga;

Definição do ritmo de embarque tendo em conta a disponibilidade de peças prontas e do espaço de armazenamento no estaleiro de obra. As peças devem seguir para obra de acordo com o planeamento de montagem;

O acesso dos equipamentos no local de obra, e a possibilidade de se fazerem manobras de inversão de marcha no estaleiro.

Normalmente, a carga das peças para o camião é feita ou por pontes rolantes ou por grua. Este tipo de movimento tem de ser executado com o máximo cuidado, sendo a peça suspensa em pontos que não conduzam a deformações ou mesmo roturas. Estão proibidas a utilização de correntes metálicas, tendo de ser usadas cintas de material tecido, no caso de necessidade de envolver as peças para as erguer. As peças devem ser devidamente calçadas, para que fiquem completamente estáveis e para que não sofram deformações durante o transporte, devendo também ser amarradas com cintas para que não deslizem.

As peças têm de ser identificadas no processo de expedição, com uma codificação que ajude a organizar o processo de montagem.

No momento da descarga em obra há que instalar materiais de separação entre as peças e o terreno para evitar que estas fiquem arranhadas devido à fricção com o solo. Se as peças ficarem empilhadas umas sobre as outras é conveniente a instalação de materiais resilientes de separação. Deve evitar-se, também, que as peças fiquem pousadas de forma a acumular sujidade e água num ponto específico da sua forma.

O transporte rodoviário é a forma de transporte mais comum no mundo das estruturas metálicas, uma vez que o material pode ser carregado dentro da fábrica e descarregado no local da obra, sendo bastante flexível. Uma das desvantagens é o elevado custo devido ao preço dos combustíveis e portagens. Se houver peças que excedam os tamanhos correntes tem de haver cuidados e transportes especiais, o que torna ainda mais caro.



Fig. 54 – Expedição de alguns elementos metálicos para obra (arquivo pessoal)

4.7 Tratamento de Superfície e Sistemas de Proteção

4.7.1 Corrosão

A corrosão é um dos principais mecanismos de degradação do aço. Este fato, torna essencial proteger as estruturas metálicas para prevenir a corrosão e possibilitar o bom desempenho no tempo de vida útil previsto.

Os materiais mais utilizados na construção civil são os aços, os ferros fundidos e as ligas de alumínio, cobre e zinco. Além dos processos físicos de deterioração, de que se destaca principalmente a fadiga, a corrosão constitui a principal forma de degradação destes materiais. O desempenho à corrosão depende naturalmente, não só do tipo de metal ou liga, da sua microestrutura, mas também das condições de exposição.

Dando que os mecanismos de corrosão e os fatores que determinam a velocidade de corrosão no ar, na água e no solo são distintos, é usual considerar três tipos de exposição: atmosférica, em águas e em solos. Por sua vez na exposição atmosférica, são habitualmente consideradas várias categorias de corrosividade que dependem principalmente, da humidade e da presença de agentes agressivos como, por exemplo, os cloretos e o dióxido de enxofre.

Alguns metais, como o aço inoxidável, formam espontaneamente na sua superfície uma fina camada de óxidos, muito estável e aderente, que proporciona uma barreira protetora eficiente e confere a estes tipos de aço uma excelente resistência à corrosão uniforme em diversos ambientes.

Todavia, a maior parte dos materiais metálicos usados em obra, devido a sua fraca resistência a corrosão, necessita de ser protegida, sendo o método de proteção mais comum a aplicação de revestimentos que exerçam efeito barreira entre o metal e o meio ambiente. Os alumínio são protegidos por anodização ou por lacagem. O aço não ligado é habitualmente revestido com revestimentos metálicos, com revestimentos orgânicos ou mesmo, com revestimentos mistos.

Embora exista uma grande variedade de sistemas de proteção, não existe uma solução universal para a proteção contra a corrosão das estruturas de aço. Visto que o dimensionamento e as operações de manutenção/reparação estão sempre associadas a questões económicas, existem varias soluções de combater a corrosão, que são adotadas em função do ambiente onde se vão inserir, das expectativas de durabilidade. Destas soluções destacam-se o sobredimensionamento das espessuras, a adoção de materiais mais nobres, a proteção anódica e catódica e os procedimentos de tratamento superficial e pintura.

Os vários tipos de corrosão podem ser classificados de acordo com a aparência do metal após a ocorrência do fenómeno (Ponte, 2003). Apesar de correlacionáveis podem estabelecer-se as seguintes classificações:

1. **Corrosão uniforme** ou ataque generalizado: quando a corrosão se processa de modo aproximadamente uniforme em toda a superfície atacada. Esta forma é comum em metais que não formam películas protetoras, como é o caso do aço e do ferro;
2. **Corrosão galvânica** ou de par bimetálico: é um fenómeno que ocorre quando dois metais com diferentes forças eletromotrizes se encontram em contacto na presença de um eletrólito;
3. **Corrosão alveolar ou por picadas**: quando o desgaste provocado pela corrosão se dá sob forma localizada, com o aspeto de crateras. É frequente em metais formadores de películas semi-protetoras ou quando se tem corrosão por depósito;
4. **Corrosão intersticial ou em fendas**: são uma forma de corrosão eletroquímica, que dependem da existência de condições geométricas favoráveis ao estabelecimento de soluções estagnadas. Uniões entre chapas aparafusadas, rebitadas ou soldadas por pontos, bem como fendas ou reentrâncias nas superfícies constituem locais de reduzida exposição ao oxigénio ambiental e de deposição fácil de detritos, humidade, ou mesmo líquidos;
5. **Corrosão intergranular**: quando o ataque se manifesta no contorno dos grãos, como no caso dos aços inoxidáveis austénicos sintetizados, expostos a meios corrosivos;
6. **Corrosão sobre tensão**: é um efeito de fissuração provocado pela atuação combinada, sobre o metal, de tensões mecânicas (internas ou impostas exteriormente) e de um ambiente corrosivo. A manifestação desta forma de corrosão caracteriza-se pelo aparecimento de fissuras muito localizadas que se propagam pela secção transversal do metal enquanto a superfície deste é geralmente pouco atacada;
7. **Corrosão por erosão**: corresponde ao aumento da velocidade de corrosão num metal por ação de um fluido corrosivo confinante com a sua superfície. O movimento do fluido conduz ao aparecimento de estrias e orifícios no metal na direção do seu fluxo corrente;

8. **Corrosão por desgaste:** ocorre nas interfaces de materiais pressionados entre si e sujeitos a vibrações e escorregamentos. Manifesta-se através de estrias ou picadas rodeadas de produtos de corrosão;
9. **Lixiviação seletiva ou perda de elementos de liga:** quando uma das fases de uma liga metálica apresenta valores da sua força eletromotriz sensivelmente diferente das que a rodeiam. Quando sujeitas a corrosão, as zonas de grande concentração da fase menos nobre (menor potencial eletromotriz) tornam-se anódicas e tendem a corroer-se.

4.7.2 Classificação de Ambientes de Corrosividade Atmosférica

Ao selecionar um sistema de proteção, é fundamental apurar corretamente as condições a que as estruturas vão estar sujeitas. A fim de se estabelecer o efeito da corrosividade ambiental, é necessário ter em conta os seguintes fatores:

- Humidade e temperatura (temperatura de serviço e gradientes térmicos);
- Presença de radiação UV;
- Exposição química;
- Solicitação mecânica (impacto, abrasão, etc.).

No caso de estruturas enterradas, devem ser consideradas as características e o arejamento (presença do oxigénio) do solo onde vão ser colocadas. A humidade e o pH do terreno, assim como a eventual exposição biológica a bactérias e microrganismos, assumem uma importância crítica.

No caso de estruturas imersas, é também importante conhecer o tipo e a composição química da água.

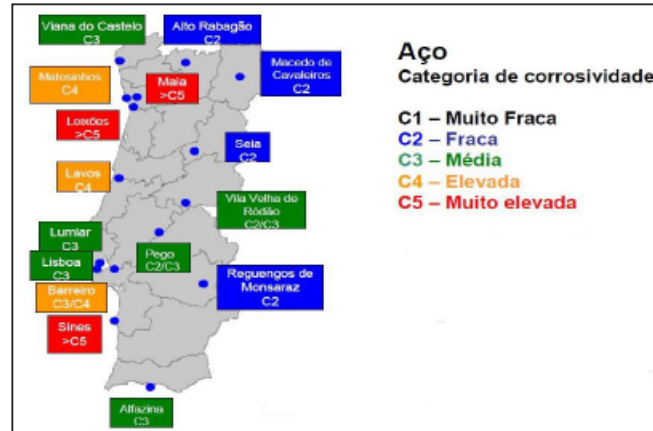
A corrosividade do meio ambiente vai ajudar a determinar:

- O tipo de tinta a utilizar;
- A espessura das várias demãos a aplicar no esquema de pintura;
- A preparação de superfície exigida;
- Os intervalos de recobrimento, mínimo e máximo.

É de salientar que, quanto mais agressivo for o ambiente, mais rigorosa e cuidada deverá ser a preparação da superfície. Adicionalmente, torna-se ainda mais importante que sejam respeitados os intervalos de recobrimento entre as diversas demãos que compõe o sistema de pintura, incluindo retoques que sejam necessários.

A proteção anticorrosiva a aplicar às estruturas metálicas é definida, atempadamente, em projeto, em função da agressividade do meio onde o edifício será implantado. O esquema de tratamento e acabamento será previsto para corresponder aos diversos ambientes e longevidade requisitados.

Segundo a parte 2 da ISO 12944, são indicadas as classificações de corrosividade relativas a ambientes da atmosfera, do solo e da água. Trata-se de uma avaliação genérica, baseada no tempo de corrosão do aço-carbono e do zinco. Não reflete exposições específicas de natureza química, mecânica ou de temperatura. Todavia, a classificação indicada pela norma pode ser aceite como um bom indicador que deve ser tido em consideração na seleção global de sistemas de pintura para um determinado projeto.



| Categori a | Corrosiv idade | Velocidade de Corrosão | | Exemplos de ambientes típicos em climas temperados (apenas informativo) | |
|---------------|----------------------------|---------------------------|--------------|--|--|
| | | g/(m2ano) | µg/ano | Exterior | Interior |
| C1 | Muito Baixa | ≤10 | ≤1.3 | - | Edifícios aquecidos, com atmosferas limpas (escritórios, lojas, escolas, hotéis) |
| C2 | Baixa | >10≤200 | >1.3≤2 .5 | Atmosferas com baixo nível de poluição. Principalmente áreas rurais | Edifícios não aquecidos onde a condensação pode ocorrer (depósitos, pavilhões desportivos) |
| C3 | Média | >200≤40 0 | >25≤5 0 | Atmosferas urbanas e industriais com poluição moderada de SO ₂ . Áreas costeiras com baixa salinidade | Salas de produção com alta humidade e alguma poluição (instalações de processamento de alimentos, lavandarias, fábricas de cervejas e de lacticínios) |
| C4 | Alta | >400≤65 0 | >50≤8 0 | Áreas industriais e áreas costeiras com elevada salinidade | Indústrias químicas, piscinas, estaleiros navais |
| C5-I | Muito alta (industrial) | >650≤15 00 | >80≤2 00 | Áreas industriais com alta humidade e atmosfera agressiva | Edifícios e áreas com condensação quase permanente e com alta poluição |
| C5 | Muito alta (marítima) | >1500 | >200 | Áreas costeiras e "offshore" com alta salinidade | Edifícios e áreas com condensação quase permanente e com alta poluição |

Tabela 9 – Classificação das categorias de corrosividade atmosférica segundo a EN ISO 12944-2 (NP EN ISO 12944, 1999)

As categorias para estruturas imersas ou enterradas segundo ISO 12944 são:

| Categoria de Corrosividade | Ambiente | Exemplos de Ambientes Estruturas |
|----------------------------|------------------------|---|
| Im1 | Água doce | Instalações de rio, centrais hidroeléctricas. |
| Im2 | Água do mar ou salobra | Áreas portuárias com estruturas, tais como portas de comportas, diques, quebra-mares, estruturas de plataforma. |
| Im3 | Solo | Tanques enterrados, condutas de aço e vigas de aço. |

Tabela 10 – Categorias para estruturas imersas ou enterradas Segundo ISO 12944 (NP EN ISO 12944, 1999)

4.7.3 Decapagem

Um dos fatores essenciais a ter em consideração na execução de estruturas metálicas é a preparação de superfície dos elementos metálicos.

Esta preparação é feita com o intuito de atingir os seguintes objetivos:

Ancoragem mecânica: o aumento da rugosidade superficial proporciona um aumento da superfície de contacto entre o metal e a tinta, ganhando assim mais aderência. O perfil de rugosidade especificado está associado à espessura da camada seca;

Limpeza superficial: é a remoção na superfície de materiais que possam impedir o contacto direto da tinta com o aço (contaminantes). O nível requerido deste tipo de limpeza varia de acordo com as restrições operacionais, do tempo e dos métodos disponíveis para a limpeza, do tipo de superfície presente e do sistema de pintura escolhido, uma vez que as tintas possuem diferentes graus de aderência sobre as superfícies metálicas.

Os contaminantes ou impurezas que podem provocar falhas, aparentemente inexplicáveis, nos revestimentos por pintura estão muitas vezes relacionados com a poluição atmosférica e com a exposição ao ambiente marítimo como sais solúveis poeiras, óleos e gorduras. No caso do aço, é fundamental a completa remoção da calamina, camada de óxidos de cor azulada que se forma durante a laminagem a quente do aço, e dos produtos de corrosão, como a ferrugem.

Os contaminantes dividem-se nas seguintes categorias:

1. **Contaminantes solúveis em solventes** tais como óleos e gorduras, tinta líquida e cera;
2. **Contaminantes solúveis em água** como cloreto de sódio, água condensada ou gelo e filmes de detergente;
3. **Contaminantes mecanicamente aderentes** como a calamina, os produtos da corrosão, películas antigas de tinta e incrustações marinhas;
4. **Contaminantes soltos** tais como poeiras e areias, resíduos de abrasivos e derrames;
5. **Contaminantes químicos incluídos no substrato** como cloretos ou sulfatos de ferro.

Os métodos mais utilizados à escala industrial para eliminação de contaminantes mecanicamente aderentes não removem a partícula, óleos, gorduras nem sais solúveis. Portanto, antes de proceder a qualquer tipo de operação deve-se efetuar um tratamento de desengorduramento, por exemplo com

detergentes, seguindo de lavagem com água em grande quantidade e a alta pressão. A hidrodécapagem (200-600 Kg/cm²) é o método mais eficiente para eliminação dos sais solúveis.

Para remoção dos contaminantes mecanicamente aderentes, como por exemplo a oxidação, podem utilizar-se métodos mecânicos ou químicos. Os mais utilizados são os métodos mecânicos com abrasivo ou com ferramentas manuais. A decapagem química faz-se essencialmente por imersão em banhos ácidos de concentração e temperatura adequadas e aplica-se, essencialmente, à preparação de peças de pequena dimensão.

4.7.3.1 Decapagem Manual

Os métodos mecânicos manuais e tradicionais de limpeza necessitam de mão-de-obra intensiva e não são muito eficazes. Normalmente são utilizados nos trabalhos de reparação, requalificação ou manutenção, pois para preparar as superfícies “in situ” torna-se mais fácil. As ferramentas mais utilizadas nestes trabalhos são:

Discos abrasivos – são recomendados para limpeza de pequenas áreas muito rugosas tais como cordões de soldadura ou cantos vivos;

Escovas de aço – utilizam-se onde há formação de óxido, não removem calamina nem salpicos de soldadura;

Ferramentas de percussão – usam-se para romper a calamina e para fazer saltar o cascão grosso da ferrugem, os mais conhecidos são os martelos de agulhas. A ação destas ferramentas pode provocar deformações, assim como incrustar outros contaminantes no substrato.

4.7.3.2 Decapagem com Jato Abrasivo

O jato abrasivo é o melhor sistema de preparação de superfícies desenvolvido até aos dias que correm. Além de remover com grande eficiência calamina, ferrugem e outros contaminantes, proporciona, igualmente, uma superfície ligeiramente irregular e rugosa que constitui uma boa base de ancoragem para as películas de tinta. Este método consiste na projeção, contra a superfície, de partículas abrasivas a alta velocidade. Estas partículas podem ser areia, granalha de aço (esférica e angular), vidro, ferro fundido, escórias e outros.



Fig. 55– Cabine e passadiço de decapagem a jato abrasivo (arquivo pessoal)

A areia é ainda um dos agentes abrasivos mais utilizados, quando a decapagem é feita a céu aberto e não há preocupação em se recuperar o abrasivo. Apesar dos problemas ambientais e de saúde provocada pela utilização de areia nas decapagens (poeiras contendo sílica), o seu consumo ainda não foi totalmente banido. Todavia, tem-se verificado a gradual substituição da areia por granalha de um subproduto da indústria do cobre (escória do cobre) e, principalmente por granalha de aço. A granalha de aço é normalmente utilizada em cabines fechadas, é um material produzido a partir de aços especiais, muito duros e o formato das partículas pode ser redondo ou angular. As redondas podem ser recicladas até 450 vezes e deixam o perfil bastante arredondado. As angulares podem ser recicladas 350 vezes e deixam o perfil anguloso e irregular (Schulz, 2013).

O facto da decapagem por via seca ser responsável pela libertação de uma grande quantidade de poeiras de variada natureza, faz com que se procurem e desenvolvam métodos alternativos como a decapagem associada a vácuo ou por via húmida, em que se pode utilizar o abrasivo juntamente ou unicamente com água.

Para avaliação do grau de limpeza e rugosidade do aço existem normas internacionalmente aceites, sendo a mais reconhecida a ISO 8501-1:1988, que teve origem na norma sueca SIS 0055 900. Esta norma é um padrão fotográfico e descritivo que tem em consideração tanto o estado original da superfície como o grau de limpeza atingido.

4.7.3.3 Graus de Limpeza Superficial

Como referência e agente moderador desta importante etapa nas construções metálicas temos a norma ISO 8501, que define tanto o estado de corrosão em que o metal se encontra antes de ser trabalhado como o estado em que deverá ficar antes de entrar na pintura. O grau mínimo de limpeza superficial varia de acordo com o tipo de tinta a ser aplicada e com as condições a que estas ficarão sujeitas.

Os padrões de grau de corrosão são definidos através de fotografias do estado de exposição em que o aço se encontra antes da pintura:

Grau A: superfície de aço completamente coberta pela carepa de laminação, intacta e aderente, com pouca ou nenhuma corrosão;

Grau B: superfície de aço com princípio de corrosão, cuja carepa de laminação tenha começado a desagregar-se;

Grau C: superfície de aço cuja carepa de laminação tenha sido removida pela corrosão ou possa ser retirada por meio de raspagem, apresentando pequenos alvéolos;

Grau D: superfície de aço cuja carepa de laminação tenha sido removida pela corrosão, apresentando corrosão alveolar de grande intensidade.

Os padrões de grau de limpeza com ferramentas manuais e mecânicas, são também definidos por meio de fotografias do estado que as superfícies exibem após o tratamento de limpeza:

St 2: limpeza minuciosa por raspagem, escorvamento ou lixamento para remoção de toda a casca de laminação e outras impurezas;

St 3: limpeza minuciosa por raspagem, escavamento ou lixamento (mecânico ou manual) para remoção de toda a casca de laminação solta e outras impurezas, porém mais rigorosa que a feita em St2;

Temos também os graus de preparação por decapagem com abrasivo:

Sa 1: Limpeza por decapagem ligeira (brushoff). A superfície resultante deverá encontrar-se inteiramente livre de óleos, graxas e materiais como carepa, tinta e ferrugem solta. A carepa e a ferrugem remanescentes poderão permanecer, desde que firmemente aderidas. O metal deverá ser exposto à decapagem com abrasivo por tempo suficiente para provocar a exposição do metal base em vários pontos da superfície sob a camada de carepa;

Sa 2: Limpeza por decapagem comercial. A superfície resultante da decapagem poderá apresentar manchas e pequenos resíduos devidos à ferrugem, carepa e tinta. Pelo menos 2/3 da área devida estar isenta de resíduos visíveis, enquanto o restante será limitado pelas manchas e resíduos;

Sa 2 ½: Limpeza por decapagem ao metal quase branco. É definida como superfície livre de óleo, graxa, carepa, ferrugem tinta e outros materiais, podendo apresentar pequenas

manchas claras devidas a resíduos de ferrugem, carepa e tinta. Pelo menos 95% da área deverá estar isenta de resíduos visíveis;

Sa 3: Limpeza por decapagem ao metal branco. Após a limpeza, o aço deverá exibir cor metálica uniforme, branco-acinzentada, sendo removida 100% da carepa e ferrugem.

Os padrões St 2, St 3, Sa1 e Sa 2, não se aplicam em superfícies com Grau A de corrosão.

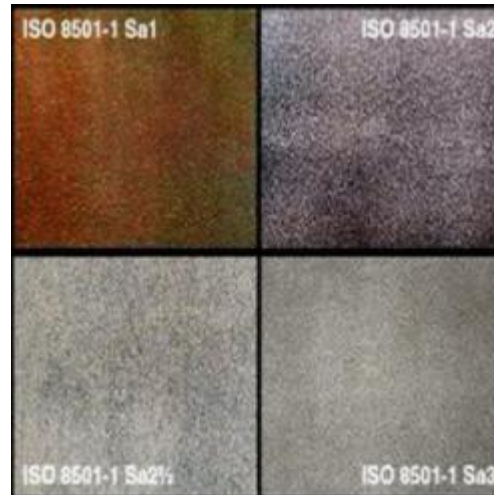


Fig. 56 – Fotografias de padrão fotográfico para determinação do grau de limpeza superficial (8501)

4.7.4 Revestimentos de Proteção

A aplicação de revestimentos constitui o meio de proteção mais usual para as estruturas em aço. Os revestimentos de proteção integram habitualmente várias camadas compatíveis entre si. O aço não ligado é habitualmente revestido com revestimentos metálicos, como por exemplo revestimentos à base de zinco ou zinco e alumínio, ou com revestimentos orgânicos (tintas e vernizes), ou mesmo com revestimentos metálicos e orgânicos (sistema duplex). Desde que sejam respeitados os períodos de manutenção geralmente a durabilidade de um revestimento misto é superior à da durabilidade dos restantes, uma vez que beneficia de um efeito sinérgico entre eles.

Estes sistemas podem funcionar da seguinte forma:

Proteção por efeito barreira: Desenvolve-se uma barreira que isola o substrato impedindo o contacto com a água e o oxigénio, através de aplicação de espessuras elevadas, ligantes com permeabilidades muito baixas e pigmentos laminares (alumínio, óxido de ferro micáceo);

Proteção por efeito inibição: Este mecanismo utiliza substâncias que inibem o processo corrosivo, interferindo nas reações catódicas ou anódicas do processo eletroquímico da corrosão. A atuação destas substâncias implica uma certa solubilidade na humidade que atravessa normalmente o filme de tinta, daí que não deve ser utilizado nunca em emersão;

Proteção galvânica: Este mecanismo usa propriedades anódicas sacrificiais do zinco metálico, em relação ao aço e é próprio das tintas normalmente designadas como sendo ricas em zinco. O fator fundamental é o teor do zinco no revestimento assegurando o contacto partícula a partícula.

4.7.4.1 Revestimentos Metálicos

Os revestimentos metálicos, que são normalmente compostos por zinco ou ligas de zinco e alumínio, formam uma ligação química com metal base e conferem proteção das estruturas metálicas contra a corrosão, por ação barreira e por proteção galvânica. Os métodos de aplicação mais utilizados são:

- Imersão a quente;
- Projeção térmica;
- Eletrodeposição;
- Sherardização.

A galvanização a quente é um processo de aplicação de revestimentos de zinco a componentes de aço ou ferro fundido através de imersão do componente em banho de zinco fundido. A simplicidade do processo de galvanização a quente é uma vantagem sobre outros métodos de proteção contra a corrosão.

Os revestimentos aplicados por projeção térmica envolvem o aquecimento de materiais até que estes atinjam um estado plástico ou fundido para depois projeta-los sobre uma superfície metálica previamente tratada, possibilitando a metalização por chama ou por arco elétrico. Também podem ser aplicados por pós-tratamentos para obter propriedades específicas do material depositado.

A eletrodeposição é um processo utilizado para proteção contra a corrosão através da deposição de diferentes metais no substrato metálico. Nas estruturas de aço, os revestimentos de zinco são mais utilizados por este método de aplicação, dependendo a sua capacidade de proteção da espessura e das condições de serviço.

A sherardização é um processo de difusão térmica onde os componentes de aço são aquecidos juntamente com uma mistura composta por pó de zinco (com ou sem material inerte) até uma temperatura de processamento, normalmente abaixo do ponto de fusão do zinco, num recipiente fechado. Durante este processo, formam-se ligas de zinco/ferro com a superfície de aço. A sherardização é geralmente utilizada para proteger contra a corrosão e o desgaste. Enquanto que a proteção contra a corrosão é influenciada pelo método de aplicação e condições de exposição ambiental, a proteção contra o desgaste é influenciada e proporcionada por propriedades específicas deste tipo de revestimentos, tais como resistência à abrasão e dureza elevada (Silva L. S., 2011).

4.7.4.2 Pintura

Os esquemas de pintura são os sistemas de proteção mais aplicados nas estruturas metálicas, pois oferecem diversas vantagens, tais como, fácil aplicação, inexistência de limitações na dimensão de elementos a proteger, possibilidade de aplicação em obra e acabamento decorativo. A proteção fornecida por este sistema é geralmente assegurada mediante a aplicação de várias camadas de tinta, cada uma com uma função específica, formando assim, um revestimento orgânico de proteção por barreira. Os diferentes tipos de camadas são definidos segundo ordem aplicação do substrato (primário, camada (s) intermédia (s) e camada de acabamento, com cores diferentes para facilitar a sua identificação, quer durante a fase de aplicação quer na de exploração e conservação.

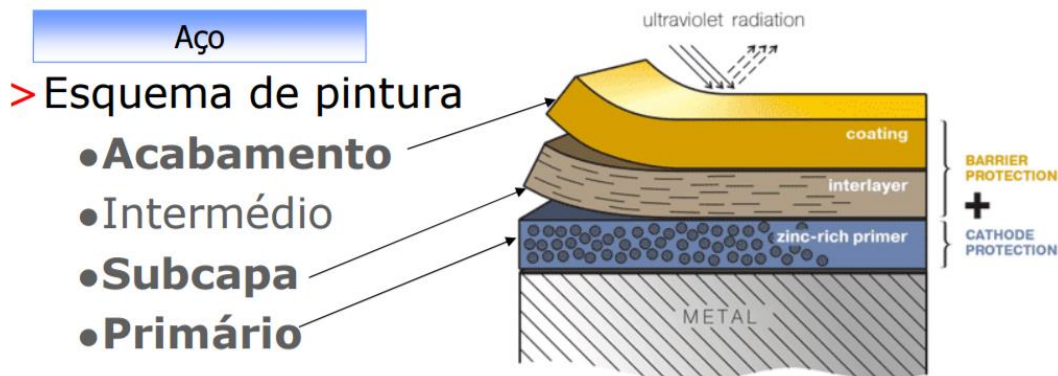


Fig. 57 - Esquema de pintura (Rodrigues, 2010)

Um esquema de pintura com uma proteção eficaz contra a corrosão deve ser aplicável sobre um conjunto especificado de condições; a secagem/cura deve ser feita dentro do limite especificado; aderir eficazmente ao substrato metálico, fornecer um revestimento com propriedades adequadas, cumprir requisitos de decoração e cumprir a durabilidade especificada.

O primário aplicado deve possuir características de ‘molhagem’ da superfície de aço, proporcionando uma boa aderência ao substrato e uma proteção anti corrosão, ao mesmo tempo que originam uma boa base de aderência às tintas subsequentes. A camada intermedia é utilizada para aumentar a espessura geral do esquema de pintura. O acabamento deve apresentar boas características de resistência aos fatores ambientais, por exemplo, aos raios ultravioleta do sol, possuir resistência a abrasão e proporcionar um acabamento decorativo específico. Os esquemas de pintura podem ser aplicados em estaleiro ou ‘in situ’. A aplicação em estaleiro oferece vantagens como maior controlo das condições de aplicação, maior facilidade na reparação de danos e melhor controlo de desperdícios e poluição. Quanto as desvantagens existem limitações quanto às dimensões dos componentes e à possibilidade de provocar danos durante o seu manuseamento, transporte e montagem.



Especificidades da Fiscalização de Obras em Construção Metálica

Normalmente apenas a decapagem, a aplicação do primário e intermédio (quando aplicável) são efetuadas em fábrica. O acabamento é dado em obra com o objetivo de dar a respetiva (s) demão (s) e ao mesmo tempo dar possíveis retoques de pancadas que possam ter ocorrido durante as fases de transporte.

Existem três grandes tipos de tintas:

Tintas de secagem por oxidação – são tintas alquídicas que formam película por reação com o oxigénio do ar;

Tintas de secagem física – são tintas reversíveis e termoplásticas. Podem ser à base de solventes orgânicos ou de base aquosa (por exemplo as tintas acrílicas). Estes últimos apresentam grandes vantagens do ponto de vista ambiental;

Tintas de secagem por reação química – são tintas reversíveis e não termoplásticas que “filmificam” por uma reação química entre os seus componentes (por exemplo as tintas epólicas, as de poliuretano, etc.).

4.7.4.3 Seleção de Revestimento de Proteção

Durante a seleção do revestimento para proteção contra a corrosão de aço estrutural devem ponderar-se as vantagens e desvantagens de ambos os tipos de revestimentos metálicos disponíveis ou obtidos co esquemas de pintura:

| ESQUEMAS DE PINTURA | | REVESTIMENTOS METÁLICOS |
|---------------------|---|---|
| VANTAGENS | <p>Geralmente a aplicação é fácil.</p> <p>A aplicação dos diferentes tipos de revestimento ao aço é mais simples.</p> <p>O equipamento necessário à pintura é adquirido facilmente.</p> <p>Não existem limites na dimensão ou tipo de estrutura.</p> <p>Ao contrário dos revestimentos metálicos proporcionam uma boa resistência em condições ácidas e podem cumprir com diversos requisitos devido à disponibilidade de uma ampla gama de produtos e cores.</p> <p>A NP EN ISO 12944-5:2007 fornece orientação na identificação e selecção de esquemas de pintura mais adequados.</p> | <p>A aplicação é simples e facilmente controlável.</p> <p>A especificação é mais simples e devido às normas disponíveis e ao maior nível de certeza quanto ao desempenho.</p> <p>A durabilidade é fácil de prever e raramente ocorrem falhas prematuras.</p> <p>Maior resistência aos danos e ao manuseamento mais fácil.</p> <p>A resistência à abrasão é aproximadamente 10 vezes superior, ou mais, aos esquemas de pintura convencionais.</p> <p>Em caso de danos, a corrosão ataca preferencialmente o revestimento metálico, em vez do aço estrutural. É possível um revestimento espesso nas bordas</p> |
| | <p>A aplicação é susceptível de muitos erros quando a mão-de obra tem pouca qualidade. Logo devem ser adoptados procedimentos adequados no controlo da qualidade.</p> <p>A vida expectável é muitas vezes difícil de prever mesmo quando estão disponíveis normas e especificações.</p> | <p>Quando é necessária pintura adicional, a aplicação no revestimento metálico pode ser complicada.</p> <p>Na galvanização por imersão a quente existem limitações nas dimensões permitidas para fabricação e na disponibilidade de plantas de galvanização.</p> <p>Se não for aplicada protecção adicional os revestimentos metálicos normalmente desenvolvem uma aparência pouco agradável com o tempo.</p> <p>Quando é necessário soldar depois da aplicação de um revestimento metálico ou quando ocorrem danos graves no revestimento, é difícil atingir um Padrão de protecção idêntico ao resto da estrutura nessas zonas.</p> |

Tabela 11 – Quadro comparativo de sistemas de Protecção (António Lamas, 2001)

Os fatores mais importantes na seleção de revestimentos de proteção são: o tipo de estrutura e a sua importância, que permitem estabelecer o tempo de vida desejável; a caracterização ambiental, nomeadamente macro e micro climas; durabilidade exigida e o desempenho do revestimento e o seu custo. Particularmente, a temperatura e a humidade ambiental são muito importantes devido à sua influência no desempenho da durabilidade do revestimento. Devem ser aplicados

revestimentos com elevada resistência em ambientes agressivos, enquanto revestimentos menos resistentes são satisfatórios para ambientes moderados, pois são normalmente de baixo custo.

4.7.5 Proteção ao Fogo

Como é de conhecimento geral o aço tem um fraco desempenho quando sujeito a altas temperaturas. Por um lado a sua elevada condutividade térmica faz com que a temperatura se propague rapidamente e por outro lado as suas propriedades mecânicas degradam-se drasticamente com o aumento da temperatura. Assim, qualquer que seja o sistema estrutural adotado para a construção, ele terá inevitavelmente perda de resistência mecânica quando sujeito a altas temperaturas.

A capacidade resistente do aço diminui drasticamente com o aumento da temperatura. A 700°C possui apenas 23% da sua capacidade resistente à temperatura ambiente, a 800°C já só possui 11% e a 900°C restam 6% daquela capacidade resistente. O efeito da temperatura pode ser observado na figura 58, onde estão representados gráficos tensão-extensão do Aço S235 para várias temperaturas. Por outro lado o módulo de elasticidade a 600°C reduz-se cerca de 30% do seu valor à temperatura ambiente, e a tensão de cedência cerca de 50%.

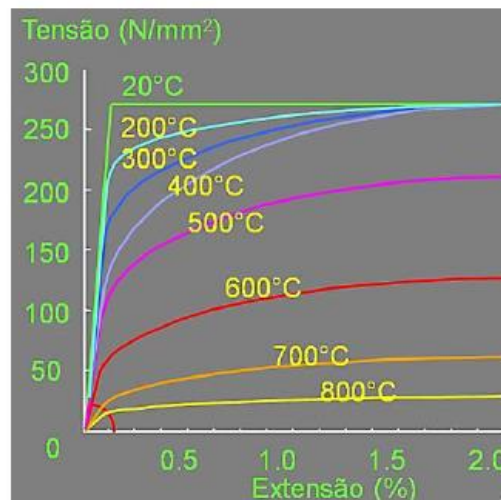


Fig. 58 - Diagrama de tensão-extensão do Aço a Alta temperatura (Standardization, 2014)

Assim a regulamentação vigente contém um conjunto de disposições destinadas a dar resposta às exigências de segurança contra incêndio, tendo em vista que as construções devem ser projetadas e construídas de tal forma que, na hipótese de ocorrência de um incêndio:

- A produção e propagação de fogo e fumo, no interior da construção, sejam limitadas;
- A propagação do incêndio a construções vizinhas seja limitada;
- Se possam evacuar os seus ocupantes ou salva-los por outros meios;
- A segurança das equipas de intervenção seja tida em consideração;

A capacidade resistente da construção possa ser garantida durante um período de tempo pré-determinado.

A resistência ao fogo define-se como o tempo que decorre desde o início de um processo de aquecimento normalizado (ISO 834) a que um elemento é submetido até ao momento em que ele deixa de desempenhar as funções para que foi projetado. Existem dois requisitos, muito importantes, nesta temática:

Temperatura crítica (T_c) – que é a temperatura de colapso dos elementos estruturais;
Tempo de Resistência – R30, R60, R90, R120 (números referentes ao tempo de resistência dos elementos estruturais em minutos).

A maneira mais simples de garantir a resistência ao fogo de uma estrutura consiste em assegurar que os seus elementos (vigas, pilares, lajes, etc.) trabalhando isoladamente possuem a resistência ao fogo exigida regulamentarmente. No caso de estruturas de aço, alguns países recomendam temperaturas críticas que não devem ser excedidas antes do tempo regulamentar (Ferreira, 2011).

Raramente a resistência ao fogo das estruturas metálicas não protegidas é superior a meia hora, sendo assim, difícil que se satisfaçam as exigências regulamentares senão adotarem medidas adequadas. Estas medidas passam pelo aumento da massa dos elementos, ou pela utilização de materiais de proteção térmica (proteção passiva) reduzindo-se em ambos os casos a taxa de aquecimento dos elementos. É no entanto, geralmente menos económica a primeira solução que a segunda.



Fig. 59 - Exemplo de estrutura de Aço e madeira após um incêndio

Ao dimensionar uma estrutura metálica temos de pensar um pouco mais á frente e dimensiona-la a pensar numa situação de incêndio. A predisposição de uma qualquer chapa que constitui a secção transversal para encurvar, pode limitar a capacidade resistente aos esforços axiais ou a resistência à flexão da secção, ao impedir que o limite elástico seja alcançado. É possível evitar a ruína

prematura provocada pelos efeitos da encurvadura local, limitando a relação do comprimento / espessura de cada chapa individual que constitui a secção transversal (António Lamas, 2001).

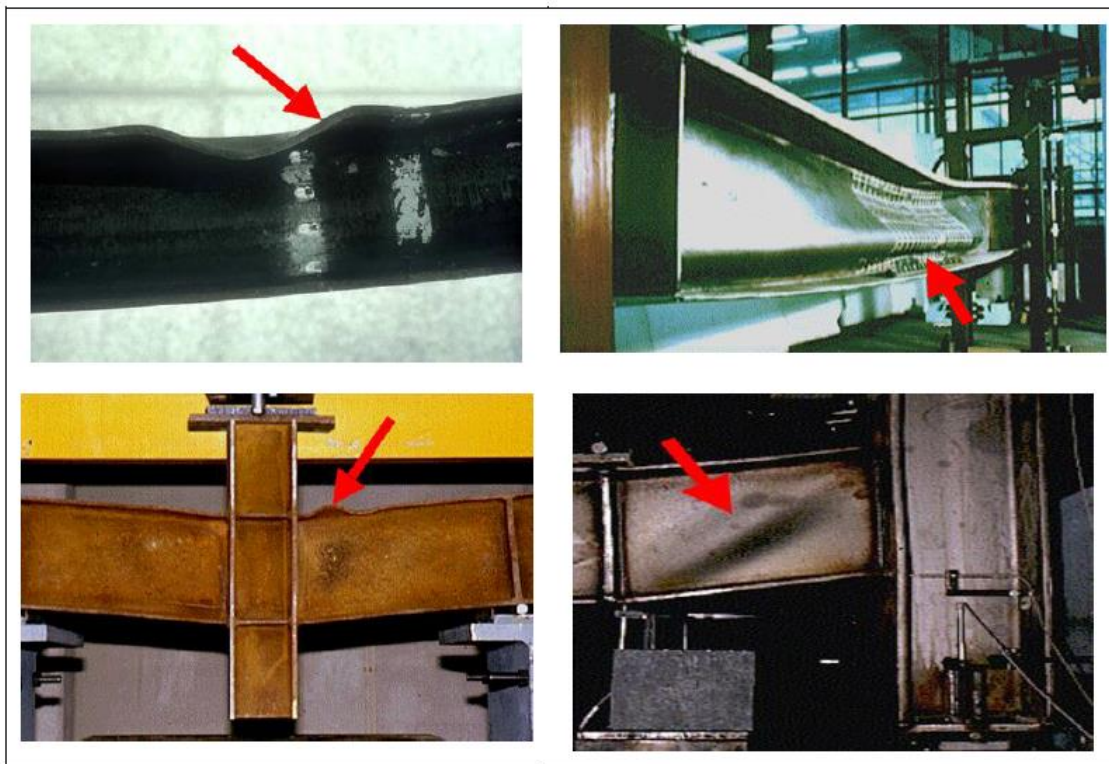


Fig. 60 - Vigas que sofreram encurvadura local (Pereira, 2016)

A utilização de materiais de proteção térmica permite a obtenção de resistências de fogo que podem ir desde a meia hora às quatro horas consoante a natureza e a espessura do material de proteção utilizado. Os vários métodos e sistemas de proteção geralmente utilizados podem agrupar-se da seguinte forma:

Proteção envolvendo o elemento: pintura intumescente, materiais projetados, envolvimento por betão ou proteção em caixão;

Proteção com resguardos ou ecrãs;

Irrigação do aço.

Assim aos materiais usados na proteção de estruturas metálicas contra incêndio devem ser exigidas as seguintes propriedades:

Elevada temperatura de fusão;

Boa capacidade para se deformarem sob a ação do calor;

Resistência às ações de origem térmica;

Condições de perfeita aderência às estruturas em que são aplicados;

Resistência ao longo do tempo às intempéries, químicos, choque, etc.

Para desta forma evitarem a sua separação provocada pelo aumento da temperatura ou excessiva deformação da estrutura.

De seguida indicar-se-ão sucintamente alguns materiais mais utilizados na proteção ao fogo das estruturas de aço:

Betão

O betão normal ou leve (celular) é correntemente utilizado como material de proteção, envolvendo o elemento estrutural a proteger, em torno da qual é contido por cofragens ou sob a forma de placas pré-fabricadas, que se ligam à estrutura por dispositivos adequados. Uma das vantagens da sua utilização é a sua excelente durabilidade em ambientes agressivos, é no entanto, dispendioso.

Gesso

O gesso é um sulfato de cálcio que, no estado seco, contém cerca de 20% de água cristalizada. Quando sujeito a altas temperaturas, transforma-se num sulfato de cálcio anidro, com absorção de grande quantidade de calor. Por outro lado, a água resistente na sua constituição absorve também calor para se vaporizar. Ao absorver grande quantidade de calor quando sujeito ao fogo, o gesso atrasa a passagem do fluxo térmico funcionando assim como material de proteção térmica.

O emprego do gesso exige a utilização de um suporte adequado que evite a sua desagregação, como por exemplo uma rede metálica ou fibra de vidro.

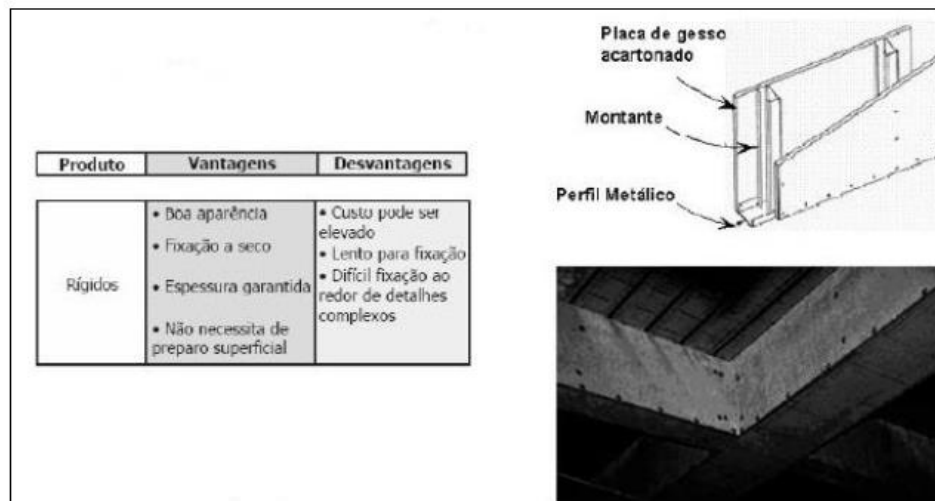


Fig. 61 - Gesso – Proteção passiva (Nanosteel, 2012)

Pinturas Intumescentes

As pinturas intumescentes utilizam uma tinta de características especiais. Estas tintas constituem derivados celulósicos que, pela adição de ligantes orgânicos especiais e agentes dilatadores, tendem a aumentar de volume quando a temperatura atinge valores da ordem dos 100 a 300°C, formando uma camada protetora que pode atingir várias de vezes a espessura do filme de tinta.

inicial, podendo retardar até cerca de duas horas o momento em que se atinge a temperatura crítica do elemento a proteger.

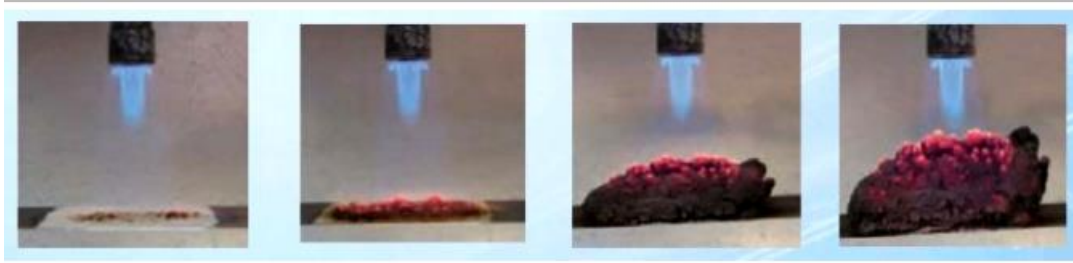


Fig. 62 - Reação da tinta intumescente ao calor (Jr, 2015)

O sistema de aplicação consiste na decapagem do aço, seguido da aplicação de um primário anti corrosivo, aplicando de seguida a pintura intumescente e terminando com o acabamento. A demão de pintura intumescente depende da secção do perfil a aplicar, do tempo de resistência e da temperatura crítica para o qual se pretende que os elementos metálicos resistam, podendo as demãos ser mais ou menos massivas, quanto menor for a secção maior terá de ser a massividade, isto é, mais espessa terá de ser a demão.

Dado que a resistência mecânica e química da pintura no tempo é limitada, torna-se necessário renovar periodicamente o sistema de proteção, total ou parcialmente. É aconselhável estar atento ao estado de conservação do revestimento, por meio de um controlo visual periódico a fazer, em caso de necessidade, aplicações pontuais de tinta.

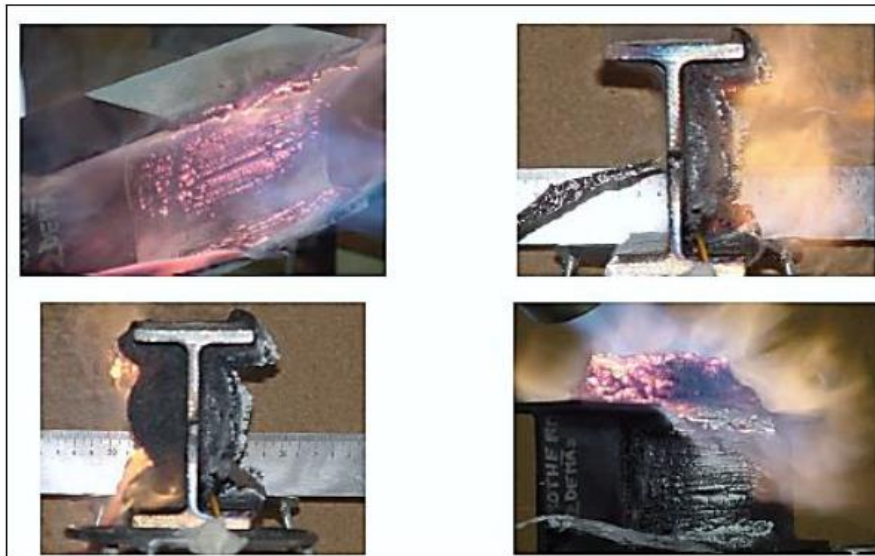


Fig. 63 - Reação da pintura intumescente em perfis metálicos (Jr, 2015)

Argamassas projetadas

São produtos mais económicos, comparativamente á pintura intumescente, que apresentam bom isolamento térmico às altas temperaturas, mantendo a integridade da estrutura durante a evolução do possível incêndio.

São aplicados por projeção e após a sua secagem trabalham monoliticamente com a estrutura, acompanhando seus movimentos, sem a ocorrência de fissuras ou desprendimento.

Sua durabilidade devida ser a mesma da estrutura, dispensando manutenção, e não promovendo qualquer tipo de ataque corrosivo ao aço. Normalmente são aplicadas em elementos estruturais que não se encontrem visíveis, pois o seu aspeto é bruto, não agradando a vista.

Não são higroscópicos, tornando desnecessário o uso de tintas de fundo ou outros sistemas de proteção contra a corrosão em estruturas internas.

Estruturas externas costumam receber proteção de um primário anticorrosivo e uma ponte de aderência (resina acrílica de base água) com a argamassa, para que não haja o desenvolvimento da corrosão da camada passiva.

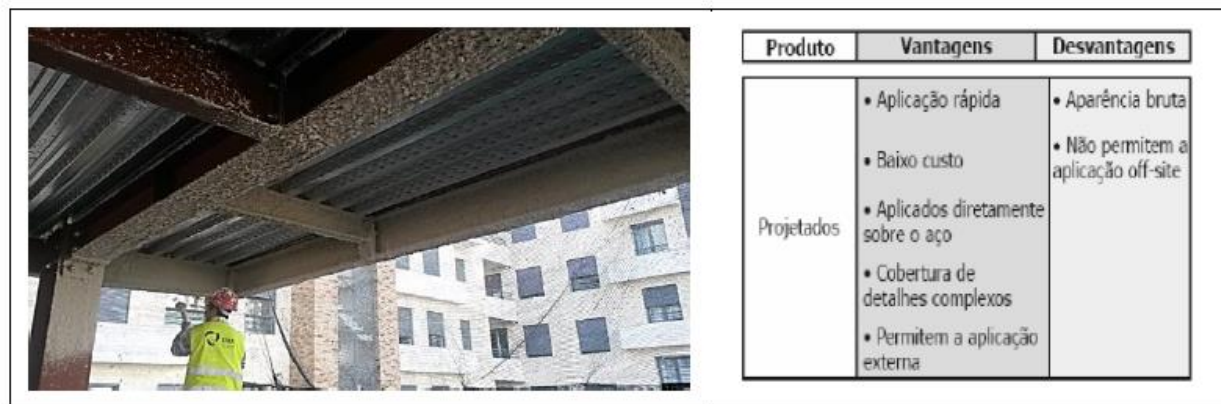


Fig. 64 - Argamassa Projetada (Nanosteel, 2012)

4.8 Tipos de Defeitos na Pintura

Neste capítulo pretende-se fazer uma análise aos defeitos de pintura e as suas formas de prevenção.

Nenhum revestimento dura para sempre, e mais tarde ou mais cedo a película protetora acaba por se deteriorar e consequentemente começa por apresentar falhas no seu processo natural de envelhecimento, também é verdade que quando a tinta não se comporta da forma esperada, ou quando essas falhas ocorrem antes do fim da vida útil prevista, o fenómeno pode ser considerado como um defeito de pintura.

Quando se observa um defeito de pintura é importante desenvolver uma análise sistemática e atenta que permita detetar a sua natureza e as suas causas. Muitas vezes podem existir várias razões possíveis para um defeito de pintura. Assim, não se deve tirar conclusões precipitadas sem se proceder a uma investigação completa. Uma determinação errada da causa conduzirá a uma solução errada. Muitas vezes estas conclusões só podem ser estabelecidas utilizando a experiência e o equipamento de um laboratório (Schulz, 2013).

A Norma Portuguesa NP-111 de 1982 é a normalização das definições dos defeitos de pintura.

As patologias inerentes aos esquemas de pintura devem-se principalmente a três razões:

- Má preparação do substrato;
- Defeitos no substrato;
- Envelhecimento do substrato.

Portanto, para evitar o aparecimento de patologias no âmbito das pinturas é importante:

- Escolher o tipo de tinta em função do material que compõe o substrato e não por razões estéticas ou subjetivas;
- Seguir a risca as recomendações contidas no boletim técnico;
- Quando o conteúdo dos boletins técnicos não for suficientemente explícito, solicitar maiores esclarecimentos ao vendedor/fabricante;
- Definir os procedimentos, número de camadas, prazos de cura, etc. através do conteúdo da ficha técnica;
- A nova pintura deve ser providenciada antes que a pintura atual esteja totalmente deteriorada. Quando isso acontece há alteração do substrato ocasionando a necessidade de tratamento de recuperação do substrato. (HEMPEL)

4.8.1 Apresentam-se a baixo defeitos a curto prazo (Esteves, 2012):

4.8.1.1 Bolhas – empolamento (blistering)



Fig. 65 – Exemplo de defeito de pintura (empolamento) (Metaloviana, 2014)

| | |
|-------------------|--|
| Descrição: | Caracterização pelo aparecimento de bolhas, resultantes de uma perda de aderência á base de aplicação. Estas bolhas contem normalmente sólidos, líquidos ou gases. |
| Causas: | Aplicação de um esquema inadequado; Deficiente preparação de superfícies antes da pintura; Deficiente processo de aplicação; Condições inadequadas durante a pintura e a secagem (secagem rápida e excesso de humidade no substrato ou ambiente). |
| Correção: | Escovar ao grau SA3 a superfície afetada e proceder a limpeza com solventes; Repintar; Em casos graves, retirar toda a pintura. |

Tabela 12 – Defeitos de pintura do tipo bolhas /empolamento

4.8.1.2 Cabeça de alfinete (pinholding)



Fig. 66 – Exemplo de defeito de pintura (cabeça de alfinete) (Metaloviana, 2014)

| | |
|-------------------|--|
| Descrição: | Orifícios minúsculos que se formam na superfície de uma película de tinta e verniz ou produto similar, que se assemelham à cabeça de alfinete. |
| Causas: | Retenção de solventes sob a película formada; Presença de humidade no ar ou no suporte; Libertação de ar retido em películas; Ar ou solventes aprisionados no file de tinta húmida que se escapam para a atmosfera quando a tinta ainda húmida mas que já não consegue voltar a formar um filme coerente; Pintura à pistola sobre substrato quente; Pintura direta de uma camada espessa sobre um substrato metalizado ou pintado com etil silicato de zinco. |
| Correção: | É impossível tapar os bicos de alfinete apenas com uma nova camada de tinta. A única correção possível é lixar a superfície afetada até os bicos de alfinete desaparecerem e voltar a aplicar o esquema de pintura previsto no caso dos substratos. |

Tabela 13 – Defeitos de pintura do tipo cabeça de alfinete

4.8.1.3 Crateras (crates)



Fig. 67 – Exemplo de defeito de pintura (crateras) (Metaloviana, 2014)

| | |
|-------------------|---|
| Descrição: | Aparecimento na película de pequenas depressões circulares que persistem apos secagem e se assemelham muito a olhos de peixe, sendo maiores em tamanho e geralmente incorporam pequenas partículas de matérias estranhas. |
| Causas: | Deficiente preparação da superfície; Contaminação da superfície por óleos e gorduras; Regulação incorreta de ar / tinta e/ou ar contaminado; Solventes que se libertam do filme de tinta algum tempo apos a aplicação de tinta devido à má mistura dos componentes da tinta. |
| Correção: | Se pontual, lixar e reaplicar o sistema; Se generalizado, remover todo o revestimento e repintar. |

Tabela 14 - Defeitos de pintura do tipo

4.8.1.4 Enrugamento (wrinkling) – levantamento



Fig. 68 – Exemplo de defeito de pintura (enrugamento) (Metaloviana, 2014)

| | |
|-------------------|--|
| Descrição: | Desenvolvimento de rugas numa película, em toda ou em parte da sua espessura, durante a sua secagem. |
| Causas: | Este defeito ocorre quando se aplica uma tinta com solventes fortes (tintas epoxídicas) sobre uma tinta alquídica ou que oxida o ar, aplicada recentemente. Ao estar em contacto com o solvente forte começa a dissolver, “enrugando”. Apos algum tempo levanta e grandes áreas podem perder a aderência ao substrato; Condições de secagem deficientes; Atmosferas contaminadas ou com correntes de ar; Aplicação de tintas com solventes fortes sobre outras não resistentes aos mesmos; Secagem demasiado rápida ou tempo de cura insuficiente. |
| Correção: | Apos secar, lixar toda a zona afetada, preparar a superfície e repintar com uma tinta compatível; Se necessário remover todas as camadas de tinta; Respeitar os tempos de cura. |

Tabela 15 - Defeitos de pintura do tipo enrugamento

4.8.1.5 Escorrimento – descaimento (sag)



Fig. 69 – Exemplo de defeito de pintura (escorrimento) (Metaloviana, 2014)

| | |
|-------------------|--|
| Descrição: | Defeito de pintura consequente do excesso de espessura de película, dando a aparência de cortina ou lágrimas. |
| Causas: | Deficiência na regulação do leque; Movimentos muito lentos ou próximos da superfície; Pressão do ar baixa ou viscosidade alta da tinta; Uso incorreto do diluente; Relação ar / tinta incorreta. |
| Correção: | Lixar a superfície afetada e proceder à limpeza com solventes, repintar; Em casos mais intensos, remover todo revestimento. |

Tabela 16 - Defeitos de pintura do tipo escorrimento

4.8.1.6 Espessura irregular (por falta ou excesso)

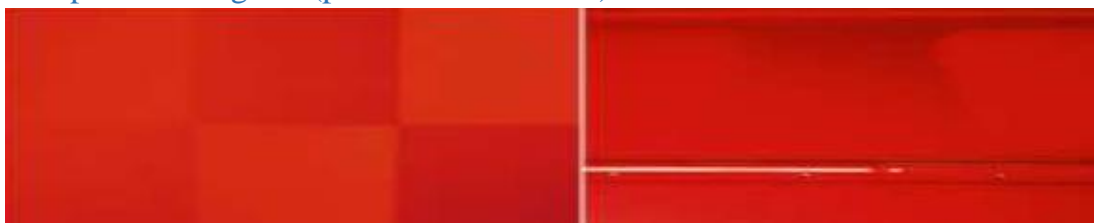


Fig. 70 – Exemplo de defeito de pintura (espessura irregular) (Metaloviana, 2014)

| | |
|-------------------|--|
| Descrição: | Falta de uniformidade do filme, fora das tolerâncias médias. As áreas em escassez apresentam pouca cobertura, “sombreamento” da demão anterior, podendo até favorecer a corrosão. |
| Causas: | Falta de habilidade do pintor; Trincha ou rolo inadequado; Pintura com pistola ao vento; Tinta muito viscosa ou com pouco alastramento; Diluição incorreta; Falta de controlo da espessura húmida; Pistola desregulada – pistola com pulverização espasmódica; Superfícies difíceis de pintar. |
| Correção: | Em casos de excesso de camada, desde que a película esteja bem aderida sobre o substrato ou demão anterior não há necessidade de se fazer qualquer retrabalho; havendo falta de aderência deve-se remover todo o revestimento e refazer o esquema de pintura; Em casos de espessura insuficiente deve-se aplicar uma demão adicional para atingir a espessura especificada respeitando-se o intervalo de repintura, caso tenha sido ultrapassado o intervalo máximo de repintura. |

Tabela 17 - Defeitos de pintura do tipo espessura irregular

4.8.1.7 Exfoliação / descamação – perda de aderência (flaking)



Fig. 71 – Exemplo de defeito de pintura (exfoliação / descamação) (Metaloviana, 2014)

| | |
|-------------------|--|
| Descrição: | Perda total de aderência de uma película ou de um esquema composto por mais de uma tinta ou demão à respetiva base de aplicação e que provoca a sua separação em tiras. |
| Causas: | Superfície mal preparada, contaminada com gorduras ou partículas solidas soltas ou contaminação que ocorra apos a preparação da superfície; Humidade no substrato, a qual, sob o efeito do calor, passa ao estado de vapor, pressionando o filme da tinta, que se desprende assim do substrato; Pintura sobre superfície quente; Reação da tinta com o substrato em tintas à base de água; Rugosidade inadequada (pouco rugosidade); Inobservância dos intervalos para repintura; Contaminação da superfície entre demãos. |
| Correção: | Controlar o perfil de rugosidade; Eliminar partículas sólidas soltas; Medir temperatura do substrato; Rever possíveis pontos de contaminação durante o manuseio da peça; Ajustar viscosidade de maneira a garantir a tensão superficial baixa para uma completa umectação da superfície; Não aplicar tintas incompatíveis com a camada anterior ou com o substrato; Nunca usar tintas convencionais sobre superfícies com uma temperatura acima de 40°C. |

Tabela 18 - Defeitos de pintura do tipo exfoliação

4.8.1.8 Casca de laranja



Fig. 72 – Exemplo de defeito de pintura (casca de laranja) (Metaloviana, 2014)

| | |
|-------------------|---|
| Descrição: | Apresenta irregularidades em toda a película similares á casca de laranja. É um defeito estético e não de proteção. |
| Causas: | Atomização da tinta insuficiente; Utilização de solventes de evaporação muito rápida; Ambiente muito quente durante a pintura; Viscosidade elevada da tinta; Velocidade de aplicação e distância pistola-superfície incorreta; Falta de solventes. |
| Correção: | Apos secagem deve-se lixar a superfície afetada e proceder a limpeza com solventes, repintar; Em casos graves, retirar toda a pintura. |

Tabela 19 - Defeitos de pintura do tipo casca de laranja

4.8.1.9 Flutuação de pigmentos



Fig. 73 – Exemplo de defeito de pintura (flutuação de pigmentos) (Metaloviana, 2014)

| | |
|-------------------|--|
| Descrição: | Apresenta aspeto não homogéneo. |
| Causas: | Uso inadequado de aditivos; Produtos incompatíveis. |
| Correção: | Lixar a superfície afetada e proceder a limpeza com solventes, repintar. |

Tabela 20 - Defeitos de pintura do tipo Flutuação de pigmentos

4.8.1.10 Impregnação de abrasivo e/ou de materiais estranhos

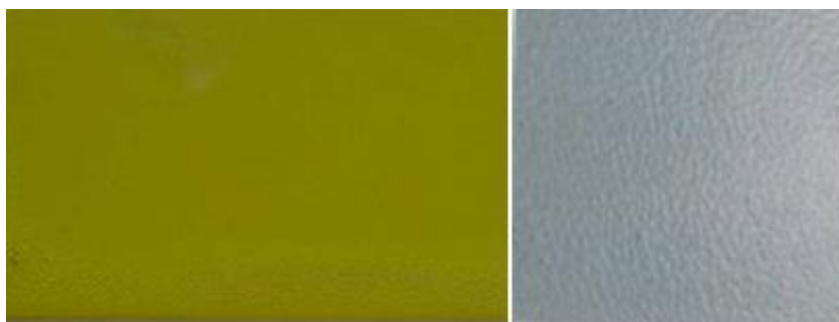


Fig. 74 – Exemplo de defeito de pintura (impregnação de abrasivo) (Metaloviana, 2014)

| | |
|-------------------|--|
| Descrição: | Defeito estrutural na película devido à exposição da tinta ainda não seca ao toque, em ambientes contaminados com abrasivo em suspensão, contaminação das tintas ou dos equipamentos de aplicação. |
|-------------------|--|

| | |
|------------------|--|
| Causas: | <p>Pintura sobre superfície contaminada com poeira e / ou grãos de abrasivo;</p> <p>Contaminação da superfície da tinta ainda húmida pelo abrasivo que cai sobre ela;</p> <p>Tinta, rolo ou trincha contaminada por areia, terra, abrasivo, etc.</p> <p>Poeira levada pelo vento sobre tinta fresca.</p> |
| Correção: | <p>Antes da secagem: aplicar panos com solvente para remover a pintura contaminada;</p> <p>Apos secagem: dependendo da intensidade, lixar ou remover toda a pintura contaminada e aplicar outra demão;</p> <p>Limpar equipamento contaminado;</p> <p>Filtrar tinta contaminada;</p> <p>Limpar a superfície, removendo o pó antes de pintar;</p> <p>Proteger a área de pintura contra as contaminações.</p> |

Tabela 21 - Defeitos de pintura do tipo impregnação de abrasivos

4.8.1.11 Inclusão de Pelos



Fig. 75 – Exemplo de defeito de pintura (inclusão de pelos) (Metaloviana, 2014)

| | |
|-------------------|---|
| Descrição: | Defeito estrutural da película decorrente de impregnação de pelos de trincha, rolo ou outras fontes durante a aplicação. |
| Causas: | <p>Contaminação da superfície a ser pintada ou ainda com tinta fresca por pelos (fios, fiapos, cabelos, etc.), originados de trinchas, rolos, estopas, panos, etc.;</p> <p>Pelos levados pelo vento e que caem sobre tinta fresca;</p> <p>Tintas contaminadas.</p> |
| Correção: | <p>Antes da secagem: remover as impurezas e retocar;</p> <p>Após secagem: lixar e retocar as áreas contaminadas;</p> <p>Descartar trinchas e rolos defeituosos;</p> <p>Limpar os equipamentos contaminados;</p> <p>Filtrar tinta contaminada;</p> <p>Limpar as superfícies antes de pintar;</p> <p>Evitar o uso de estopa e utilizar panos.</p> |

Tabela 22 - Defeitos de pintura do tipo Inclusão de pelos

4.8.1.12 Marcas da trincha



Fig. 76 – Exemplo de defeito de pintura (marcas de trincha) (Metaloviana, 2014)

| | |
|-------------------|--|
| Descrição: | Trilhas que permanecem no filme após a aplicação com pincel. É comum quando se aplica demãos cruzadas. |
| Causas: | Viscosidade muito alta; Diluyente incorreto; Agitação inadequada ou insuficiente; Ultrapassou o pot-life da tinta (tinta de 2 componentes). |
| Correção: | Usar diluentes corretos, diluição correta e respeitar o pot-life; Dependendo da extensão das marcas, lixar e repintar. |

Tabela 23 - Defeitos de pintura do tipo marcas de trincha

4.8.1.13 Mancha química



Fig. 77 – Exemplo de defeito de pintura (mancha química) (Metaloviana, 2014)

| | |
|-------------------|---|
| Descrição: | É a perda de coloração através de ataque químico. |
| Causas: | Lavagem prematura da pintura; Má utilização do produto; Ataque químico; Tinta não conforme; Contaminação da superfície, dos equipamentos de aplicação ou da área de trabalho. |
| Correção: | Lixar a superfície afetada e proceder a limpeza com solventes, repintar. Em casos mais graves, retirar toda a pintura e aplicar produto mais resistente. |

Tabela 24 - Defeitos de pintura do tipo mancha química

4.8.1.14 Pulverização seca ou deficiente (over spray)

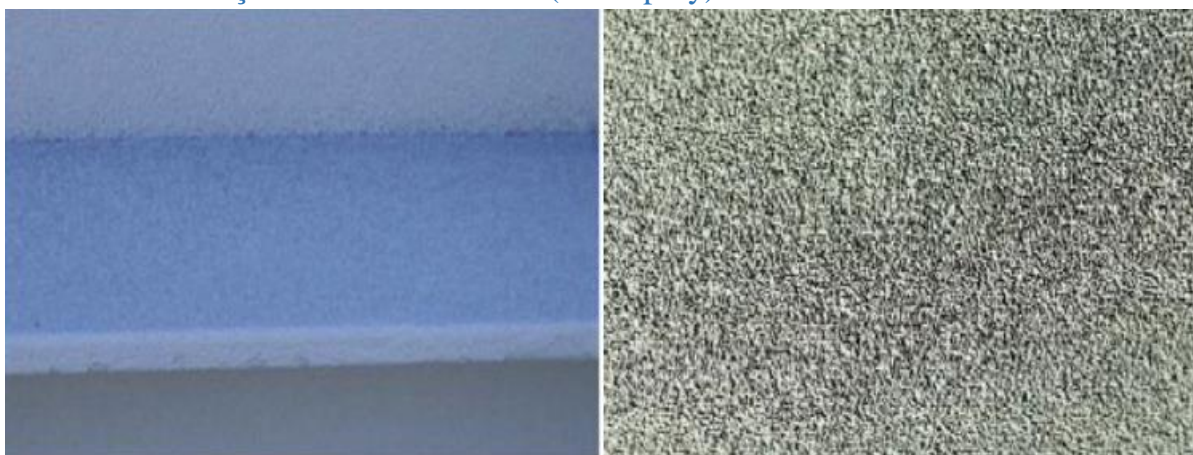


Fig. 78 – Exemplo de defeito de pintura (Metaloviana, 2014)

| | |
|-------------------|---|
| Descrição: | Defeito estrutural da película decorrente da pulverização deficiente, de modo que as partículas não se aglutinem, resultando em espaços intersticiais ou poros no filme com penetração dos agentes corrosivos. |
| Causas: | As partículas da tinta quase secas atingem a superfície devido á evaporação muito rápida do solvente; Pistola muito distante da superfície; Calor intenso do ambiente; Diluição excessiva com excesso de ar na atomização. |
| Correção: | Lixar a aplicar outra demão; Utilizar solventes pesados (evaporação lenta) adequados para o verão. Nota: este defeito é mais comum em tintas de secagem rápida. |

Tabela 25 - Defeitos de pintura do tipo over spray

4.8.1.15 Sangramento

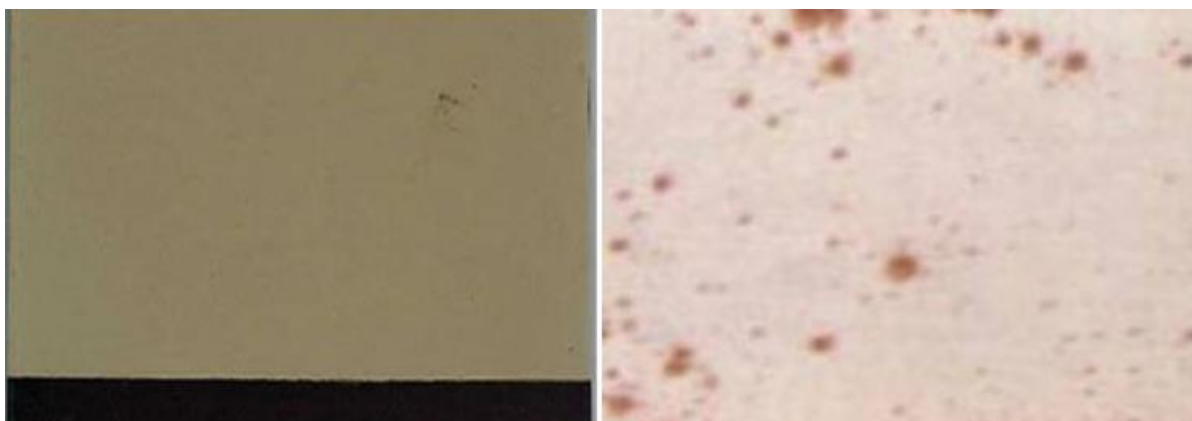


Fig. 79 – Exemplo de defeito de pintura (sangramento) (Metaloviana, 2014)

| | |
|-------------------|---|
| Descrição: | Formação de manchas na superfície do acabamento. Aparecem manchas róseo-avermelhadas no acabamento. |
| Causas: | Esta ocorrência é mais acentuada na aplicação ou logo após a aplicação como resultado da solubilização de pigmentos solúveis nas demãos anteriores, que se difundem para a última demão. Entretanto, pode ocorrer tardiamente como resultado da migração de plastificantes, corantes, óleos ou substâncias betuminosas presentes nas demãos anteriores; Contaminação da linha do ar; Aplicação sobre alcatrão de hulha. |
| Correção: | Remover a pintura através de decapagem manual e repor o esquema de retoques previsto. |

Tabela 26 - Defeitos de pintura do tipo sangramento

4.8.2 Apresentam-se a baixo defeitos a longo prazo (Esteves, 2012):

4.8.2.1 Empolamento, pulverulência ou gizamento (chalking)



Fig. 80 – Exemplo de defeito de pintura (empolamento) (Metaloviana, 2014)

| | |
|-------------------|---|
| Descrição: | Alteração que envolve a libertação de um ou mais dos constituintes de uma película seca, durante o seu envelhecimento, sob a forma de poeiras finas e pouco aderentes. |
| Causas: | Ação da radiação U.V. proveniente do espectro solar sobre as superfícies revestidas a ele expostas; É um defeito comum quando se pinta a ultima camada do revestimento com tintas epoxídicas. O grupo epóxi decompõe-se ao fim de algum tempo, com a ação da luz solar. Por este motivo, hoje em dia é muito raro a utilização de tintas epoxídicas na última camada do sistema de pintura nos casos em que a estrutura pintada fica localizada ao ar livre. |
| Correção: | A correção consiste na limpeza das superfícies afetadas, escovagem das mesmas para aumentar a aderência e aplicação de uma demão de tinta que resista à ação da luz solar (exemplo: tintas á base de poliuretano.) |

Tabela 27 - Defeitos de pintura do tipo empolamento

4.8.2.2 Pintura queimada / manchas químicas



Fig. 81 – Exemplo de defeito de pintura (pintura queimada) (Metaloviana, 2014)

| | |
|-------------------|--|
| Descrição: | A pintura fica fosca, sem brilho e com aparência ressecada. A cor fica desbotada. |
| Causas: | <ol style="list-style-type: none"> 1. Pintura realizada com produto de baixa qualidade (resistência); 2. Contacto com água durante o tempo de cura; 3. Forte irradiação de raios UV; 4. Exposição durante muito tempo a intempérie; 5. Fixação de poeiras em áreas de maior porosidade. |
| Correção: | Lixar as partes afetadas e repintar conforme o especificado ou nos casos mais críticos, preparar e pintar novamente. |

Tabela 28 - Defeitos de pintura do tipo pintura queimada

4.8.2.3 Fissuração ou Fendilhamento (cracking and checking)



Fig. 82 – Exemplo de defeito de pintura (fissuração ou fendimento) (Metaloviana, 2014)

| | |
|-------------------|---|
| Descrição: | <p>Defeito na película seca, sob a forma de fendas ou fissuras na película, com ou sem exposição do substrato;</p> <p>Fendimento superficial (checking) – a película forma pequenas fissuras estreitas e pouco profundas que não penetram o substrato;</p> <p>Fendimento até o substrato (cracking) – a película apresenta fendas profundas que penetram até o substrato, sendo visíveis a olho nu.</p> |
| Causas: | <p>Inabilidade do pintor;</p> <p>Aplicação de espessura elevada;</p> <p>Secagem superficial rápida, enquanto a película continua pastosa por retenção do diluente;</p> <p>Diluição inadequada;</p> <p>Aplicação de uma tinta muito dura sobre tintas e/ou substratos mais flexíveis.</p> |
| Correção: | <p>Se o defeito for pontual, lixar e pintar com tinta epóxi rica em zinco, consultar o fabricante/vendedor;</p> <p>Se for generalizado, remover todo o revestimento e aplicar novamente, observar especificação;</p> <p>No caso de tintas de etilsilicato de zinco, remoção total por decapagem por jato abrasivo.</p> |

Tabela 29 - Defeitos de pintura do tipo fissuração

4.8.2.4 Corrosão – oxidação



Fig. 83 – Exemplo de defeito de pintura (oxidação) (Metaloviana, 2014)

| | |
|-------------------|--|
| Descrição: | Pequenos pontos que aparecem em um filme de pintura, normalmente de baixa espessura; Frequentemente começa como pequenos pontos localizados. |
| Causas: | Danos causados por ação mecânica (exemplo: projeção de pedras, riscos, etc.) da superfície da pintura e depois alastramento da ferrugem por baixo da pintura; Pré-tratamento deficiente do substrato metálico; Limpeza inadequada; Proteção das cavidades, insuficiente ou inexistente (corrosão dentro para fora). |
| Correção: | Reparar sem demora os locais danificados; Limpeza cuidadosa da superfície metálica; Remoção da ferrugem até a chapa ficar nua à vista; Fazer tratamento adequado do substrato. |

Tabela 30 - Defeitos de pintura do tipo corrosão

4.9 Montagem

A fase de montagem em obra é a fase final do processo produtivo e deve ser alvo de um planeamento cuidadoso de montagem.

O plano de montagem, será analisado pela fiscalização e só após a sua aprovação poderão ser iniciados os trabalhos. Além das considerações que se indicarão de seguida convém atender-se ao capítulo 9 da EN1090-2 para efeitos de montagem da estrutura.

Organização do Estaleiro

Antes da montagem tem de ser definida uma área para colocação das peças pré-fabricadas em estaleiro. A gestão da quantidade e da ordem de envio de peças tem de ser agilizada em função da área disponível para armazenamento e do número de meios de elevação a mobilizar.

Materiais

Partindo do princípio que as peças a rececionar em obra foram já inspecionadas pela fiscalização, nos processos de fabrico na metalomecânica e de tratamento superficial, resta apenas confirmar em obra as marcações que possuem, de forma a não surgirem dúvidas quanto a posição que ocuparão e a que outros elementos ficarão ligados.

Os materiais têm de ser devidamente rececionados em obra para que possam ser utilizados corretamente, neste grupo incluem-se as argamassas de nivelamento e selagem, que devem ser armazenadas em local seco, estar devidamente embaladas e identificadas, cumprindo as especificações do fabricante no que respeita aos empilhamentos dos sacos e aos prazos de armazenamento.

Os elementos metálicos estruturais têm de ser arrumados sobre suportes de modo a isolá-los do solo e dispostos de modo a evitar a retenção de águas sobre as peças. Para além disso, devem também ser colocados apoios suficientes para não introduzir distorções nas peças, sendo colocadas sempre de modo que a flexão surja pelo eixo forte.

O empreiteiro é responsável pela proteção das peças da estrutura até ao momento em que ela esteja montada e rececionada, devendo tomar medidas para evitar a danificação da pintura e a acumulação de lama, sujidades e outras matérias estranhas que impedirão uma posterior boa aplicação de pintura nas zonas que seja necessário tratar em obra (Pinho, 2005).

Equipamentos

O estaleiro tem de reunir as condições necessárias para receber os funcionários responsáveis pela montagem da estrutura (montadores) bem como os respetivos equipamentos de elevação, nomeadamente multifunções e ou gruas. Os meios de elevação tem de possuir alcance suficiente para conseguir posicionar os materiais a erguer e a posicionar (Pinho, 2005).

Chumbadouros

Os chumbadouros podem ser instalados por dois processos distintos, em simultâneo com a betonagem dos apoios do betão armado ou após a cura do betão.

Quando os chumbadouros forem instalados em fase de betonagem, a sua colocação deverá ser executada tomando as necessárias precauções para que o seu posicionamento não seja alterado,

por deslocamentos inesperados, associados a movimentações de armaduras ou decorrentes durante a fase de vibração do betão.

Nos restantes casos em que os chumbadouros são instalados em fase posterior, por abertura de furos no suporte, seguidos de preenchimento com argamassas de retração compensada (Grout) ou resinas epóxi, devem respeitar-se as indicações do fabricante do produto de selagem, nomeadamente no que respeita ao diâmetro do furo (em função do diâmetro do chumbadouro), à limpeza e secura do mesmo e à forma de preparação e aplicação do produto.

Depois de estarem instalados os chumbadouros por um destes processos, o empreiteiro deve verificar, antes de iniciar a montagem, a implantação e os níveis de todos os chumbadouros e de todos os maciços de fundação. Numa fase posterior, após a elevação e posicionamento dos pilares, o espaço entre as chapas de base dos pilares e os maciços de fundação deve ser preenchido com recurso a argamassas de assentamento, antes desta operação a estrutura não pode ser carregada (Pinho, 2005).



Fig. 84 - Exemplo de chumbadouro do tipo após cura do betão

Escoramentos Provisórios

Os pórticos isolados devem ser estabilizados, se necessário, por meio de estruturas provisórias enquanto não estiverem ligados entre si, pelos elementos de travamento definidos no projeto de execução. Estas estruturas devem ser retiradas quando a parte em causa da estrutura já se encontre autossuficiente, sendo reutilizados onde sejam necessários no desenrolar da obra, daí que a sua fácil remoção também tenha de estar bem pensada e acautelada.

No final dos trabalhos deve proceder-se à limpeza e remoção destas estruturas provisórias (Pinho, 2005).

Condições para Montagem

Uma das condições fundamentais no processo de montagem de estruturas metálicas são as condições climáticas. Ventos fortes e chuvas intensas, que tornem inseguras as operações de movimentação de peças e de posicionamento dos técnicos nas zonas onde se localizam as ligações da estrutura, obrigam à suspensão dos trabalhos.

A existência de uma envolvente edificada adjacente à obra pode também tornar-se uma condicionante, na medida que obriga a equacionar e a examinar possíveis danos causados a terceiros no decurso dos processos de movimentação de peças e de instalação de escoramentos.

Como condição base, é também necessário assegurar que os eixos principais, e as marcas de nivelamento necessárias à execução da tarefa, são referenciados a pontos fixos do apoio topográfico e que estes não desapareçam durante a montagem da estrutura.

A execução de soldaduras em obra deve ser evitada, tanto pelo custo como pela parte técnica. Caso seja necessário executa-las com temperaturas adversas deve-se instalar uma proteção (tendas de soldadura) para evitar que se dê o arrefecimento brusco das soldaduras. Em condições atmosféricas favoráveis tal proteção é dispensável (Pinho, 2005).

Colocação da Estrutura

As peças que compõem a estrutura devem ser montadas respeitando, com precisão, os alinhamentos e cotas indicadas nos desenhos de projeto. A estrutura, no seu conjunto, tem de ser devidamente posicionada antes da realização das ligações definitivas e da execução de selagens.

No final, devem-se retocar as pinturas que tenham ficado danificadas durante a montagem e proceder ao tratamento das ligações soldadas executadas em obra. Estas atividades têm de ser executadas de acordo com o procedimento de tratamento e pintura definido em projeto para fase de montagem em obra.



Fig. 85 - Montagem de estruturas metálicas na Probiomass (arquivo pessoal)

5. Controlo de Produção de Estruturas Metálicas

5.1 Da Fase de Fabrico à Montagem

De uma forma muito resumida pode dizer-se que o processo de fabrico se inicia com a receção dos diversos materiais, prossegue com o fabrico realmente concretizado na oficina e remate com o tratamento superficial na unidade de pintura. A fase seguinte corresponde ao transporte dos componentes prontos para a obra e à sua montagem “in situ”. Convém também referir a fase da manutenção, que corresponde ao somatório de pequenos períodos de intervenção ao longo do período de utilização da estrutura, mas cuja definição de atividades associadas extrapola o âmbito do presente trabalho.



Fig. 86 - Fases do processo de fabrico à montagem

Como a imagem da figura 86 indica, as fases de fabrico e montagem são as mais longas do processo. A montagem em obra será tão mais rápida quanto melhor e mais organizados forem os componentes preparados na metalomecânica. Estes devem ser assemblados em subestruturas de ligação fácil em obra e com dimensões e pesos que permitam não só um transporte sem problemas, mas também a possibilidade de poderem ser movidos e colocados “in situ” com os meios elevatórios disponíveis para alugar no mercado.

A fase de receção dos materiais é também de grande importância uma vez é necessário verificar a conformidade de todos os materiais, dependendo dos fornecedores que nem sempre têm stocks disponíveis, podendo o preço ser bastante influenciado, devendo portanto as encomendas ser feitas com maior antecedência possível.

O tratamento superficial, ou num vocabulário mais vulgar designado por pintura, é uma etapa cuja duração está condicionada ao grau de exigência pretendida e à disponibilidade da estação de tratamento superficial.

Apesar de a fase de transporte apenas estar representada entre as fases de pintura e montagem, normalmente é necessário efetuar mais transportes, por exemplo após o fabrico para a estação de tratamento superficial ou mesmo para armazenamentos provisórios. Todavia, o transporte mais importante e delicado corresponde ao das peças já tratadas para obra, uma vez que é nesta fase que tem de haver mais cuidados para evitar danificar as peças e a criação de lesões nas mesmas inviabilizando assim a sua aplicação em obra. Neste processo a maioria dos acidentes está associada à elevação e deposição no solo das peças metálicas.

Convém referir que qualquer falha não detetada numa etapa inicial do processo terá repercussões cada vez com mais impacto à medida que o projeto evolui, na medida em que se tornará cada vez mais difícil substituir o componente afetado. Este impacto trará não só graves implicações financeiras como também derrapagem no prazo de execução da obra. O processo de fiscalização de estruturas metálicas exige um acompanhamento, de carácter preventivo, dos processos a montante da fase de montagem em obra. Este acompanhamento, embora seja entendido pelas empresas metalomecânicas mais competitivas como uma forma de garantia de qualidade do produto e de melhoria continua dos processos, é ainda encarado por muitas empresas mais pequenas como uma atitude ostensiva das equipas de fiscalização no sentido de burocratizar processos, agravar os custos e comprometer as datas de entrega dos trabalhos.

Pretende-se que as oficinas das metalomecânicas e as unidades de tratamento superficial sejam verdadeiros pré-estaleiros de obra, nos quais uma presença atenta e cooperante da fiscalização pode constituir um verdadeiro acompanhamento de garantia de qualidade da obra. Os coordenadores das equipas de fiscalização e os seus agentes no terreno, com vista a salvaguardar os interesses dos donos de obra, deverão continuar a insistir para que o acompanhamento da fiscalização se transforme num procedimento normal e enraizado, encarado como uma forma proveitosa de partilha de conhecimento entre todos os intervenientes no processo construtivo.

Depois de as fases de produção estarem definidas, importa definir a abordagem a adotar para cada uma delas na ótica dos procedimentos de fiscalização e detalhar as atividades que compõe cada uma das fases principais do processo. É importante referir que nestas atividades existem quatro vetores chave: a mão-de-obra, os equipamentos, os materiais e a tecnologia.

Normalmente são elaborados fluxogramas de atividades que indiquem quais os pontos de início e de fim dos processos, bem como as principais atividades e os critérios de aceitabilidade para se poder passar de uma determinada tarefa à seguinte.

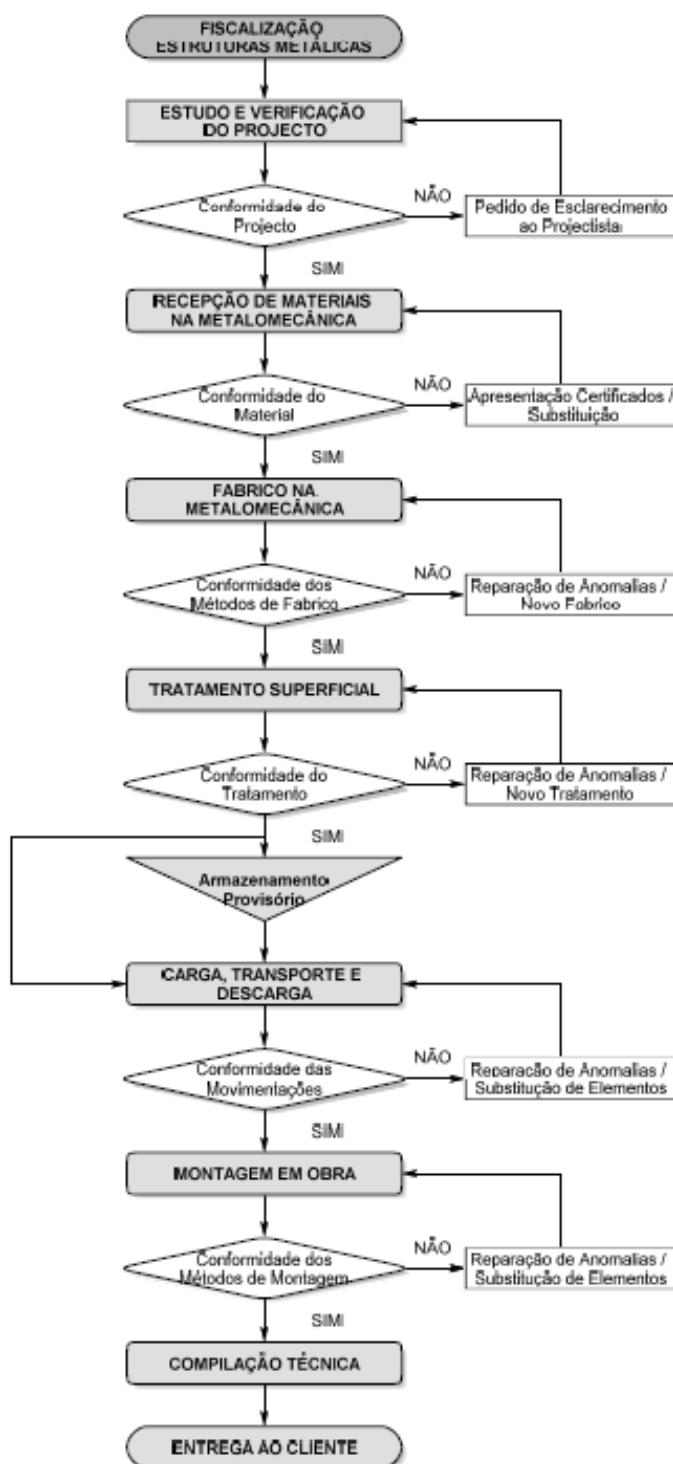


Fig. 87 - Fluxograma geral do processo de fiscalização de estruturas metálicas (Claro, 2009)

O fluxograma indica as fases de produção já referenciadas e sugere que, caso se verifique a conformidade das atividades a desenvolver nessa mesma fase, se avance para a fase seguinte e, em caso contrário, se proceda à correção da anomalia ou substituição de componentes afetados para nova avaliação de conformidade que permita a passagem para a próxima fase produtiva (Borges A. S., 2008). Apresenta ainda uma fase inicial de análise do projeto, na qual equipa de fiscalização deverá expor as suas questões ao projetista, e uma fase de encerramento que precede a entrega da obra ao cliente e que consiste na preparação da compilação técnica (Claro, 2009).

Uma vez definido o fluxograma geral, torna-se essencial pormenorizar cada uma das atividades referenciadas, cruzando-as com os inputs e outputs que lhe estão associados e aos responsáveis pela sua execução. Este tipo de decomposição é essencial para uma posterior elaboração de fichas de controlo de conformidade aplicáveis a tarefas específicas.

5.2 Plano de Controlo de Conformidade

Normalmente a forma de processar o controlo efetivo por parte da fiscalização passa pelo estabelecimento de um plano de controlo de conformidade. Este corresponde à estruturação das ações da fiscalização no âmbito da conformidade, tendo em vista garantir a qualidade de determinadas tarefas (Borges A. S., 2008).

O Plano de Controlo de Conformidade é composto por Fichas de Controlo de Conformidade (FCC) e Fichas de Controlo e Correção das Não Conformidades (FCCNC) e pode traduzir-se num organograma composto por estas fichas, devidamente associadas de acordo com o seu conteúdo funcional. Este organograma é também designado por Base de Controlo de Conformidade.

É importante mencionar que a definição desta base nem sempre é pacífica e carece de evoluções e retificações à medida que vai aumentando o conhecimento da equipa de fiscalização sobre o tipo de atividades a atuar, dependendo do tipo de obra em estudo e seus principais componentes.

O controlo de conformidade é um mecanismo essencial para que seja assegurado o paralelismo entre os elementos constantes no projeto e o realmente executado em obra. A existência de informação compilada de forma sintetizada antes do arranque dos trabalhos permite ao técnico fiscal conquistar uma perceção das principais atividades a inspecionar e reconhecer a importância no registo das informações associadas às mesmas durante a fase de execução. Estes elementos devem ser preparados com bastante antecedência de forma a que quando se iniciem os trabalhos, o fiscal já tenha estudado as verificações críticas do processo de execução e, desta forma, possua os mecanismos de alerta que orientem a sua atuação e que lhe permitam saber de antemão quais os trabalhos que exigem um acompanhamento mais profundo (Borges A. S., 2008).

5.3 Registo de Controlo de Conformidade

As Fichas de Controlo de Conformidade (FCC), são o registo físico deste processo de inspeção e tem como objetivo verificar os seguintes objetivos:

- Guiar e estruturar o trabalho da equipa de fiscalização no exercício da sua atividade;
- Combater as falhas de verificação por esquecimento ou descuido;
- Promover a qualidade de obra;
- Servir como base de dados para a identificação das falhas mais frequentes.

A utilização deste tipo de fichas numa obra de construção metálica é de toda a pertinência uma vez que os elementos metálicos antes de serem rececionados em obra passam por várias etapas de grande responsabilidade, normalmente todas executadas por pessoas diferentes. Apenas com um controlo eficaz desde a primeira etapa do processo permitirá garantir qualidade na última etapa.

5.4 Registo de Controlo e Correção de Não Conformidade

As Fichas de Controlo e Correção das Não Conformidades (FCCNC), são utilizadas, no decurso do processo de verificação de conformidade, se observa alguma anomalia de execução que careça de correção ou até mesmo de substituição. As FCCNC são muito importantes uma vez constituem um registo importante quer para o controlo de pagamentos do Dono de Obra, visto as atividades não estejam conformes não serão alvo de retribuição do empreiteiro, quer para organizar e relembrar as ações a empreender nos trabalhos em que se verifiquem incorreções. Embora a generalidade das situações de não conformidade seja solucionada com um aviso do técnico fiscal ao encarregado de obra que de imediato tenta solucionar o problema, outras há em que a relutância deste obriga à elaboração da correspondente FCCNC e ao desenvolvimento do processo de tratamento de Não conformidades.

6. Caso de Estudo

6.1 Caracterização da Obra

A obra localiza-se em Corga de Fradelos no distrito de Vila Nova de Famalicão, é uma central de biomassa, o projeto inclui dois edifícios distintos, ocupando uma área de cerca de 9345 m² com uma altura máxima de 15m. A área global de implantação é de cerca de 20.639 m², incluindo a instalação e os respetivos arranjos exteriores. O edifício 1 é composto por uma grande nave de duas águas e integra as zonas de receção, armazenagem, manuseamento e movimentação da biomassa até à caldeira e esta última. O edifício 2 consiste numa edificação de conjunto com alturas variáveis, onde se integram as seguintes áreas: sala do turbogerador, salas auxiliares de quadros elétricos, salas de postos de transformação, ala geral de oficina e armazém de peças, balneários e salas sociais e administrativas. Os dois edifícios são interligados entre si por uma estrutura elevada ao nível do 1º piso onde se encontrará instalada a sala de controlo geral, com copa e sanitários de apoio.



Fig. 88 – Localização do local de Implantação da central de biomassa (Jesus, 2017)

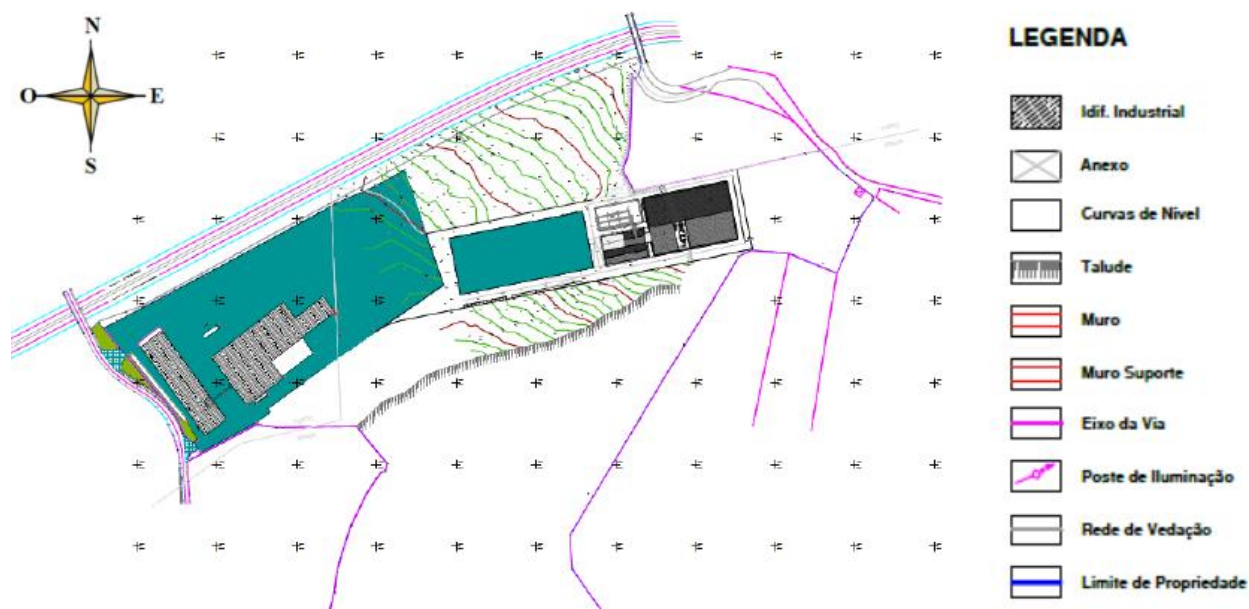


Fig. 89 – Implantação da central de Biomassa (Jesus, 2017)

O promotor de projeto e dono de obra neste caso é a empresa Probiomass, que contratou a empresa Shuangliang Clyde Bergemann, a partir de agora representada pela sigla SLCB, para a execução deste projeto. Ficando assim, a mesma, encarregada por "fazer a gestão técnica" da obra.

A SLCB é uma empresa muito conceituada na construção de condensadores refrigerados a ar, que é o princípio do funcionamento de uma central de biomassa, nasceu na china, estando agora em crescente expansão encontrando-se em vários países. Esta obra foi executada e coordenada pelo gabinete que está sediado na Alemanha.

Apresento abaixo alguns dos intervenientes selecionados pela empresa Shuangliang Clyde Bergemann GMBH, para executar algumas das especialidades da obra, sendo na parte da metalomecânica a empresa Metaloviana, S.A. e na parte das tubagens e certificação das mesmas a Energest Engenharia e sistemas de energia S.A.






| | |
|---|--|
|  | Promotor do projeto / Dono de obra Probiomass - Biomassa, Unipessoal Lda. |
|  | Empresa responsável pelos equipamentos |
|  | Empreiteiro geral / Fiscalização de obra Shuangliang Eco Systems Clyde Bergemann GmbH |
|  | Subempreiteiro Estruturas metálicas Metaloviana metalúrgica de Viana, S.A. |
|  | Subempreiteiro tubagens (piping) Energest-Engenharia e sistemas de energia S.A. |

Tabela 31 – Elementos intervenientes no processo construtivo

Quanto à parte da construção metálica, basicamente resume-se a construção de duas estruturas da classe de execução EXC 2, para suportar as turbinas e todos os equipamentos que constituem a central de biomassa, revestimentos, guarda corpos, escadas, escadas bombeiro, solos em gradil e tubagens de grande exigência a nível técnico para não ter fugas nem de ar nem de água.

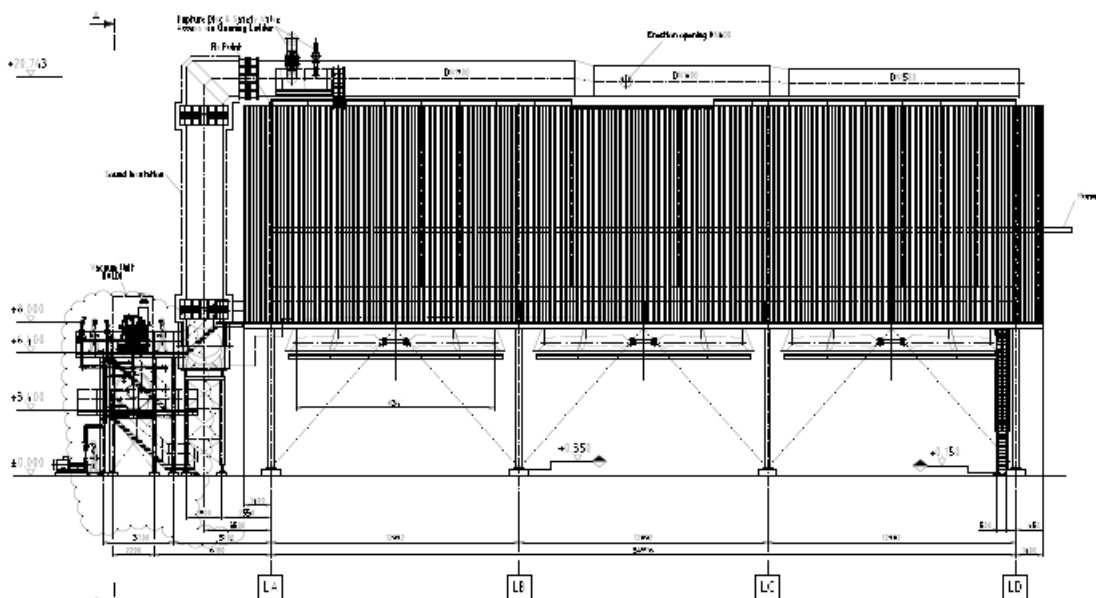


Fig. 90 – Desenho em alçado do projeto de execução da central de biomassa (Schug, 2016)

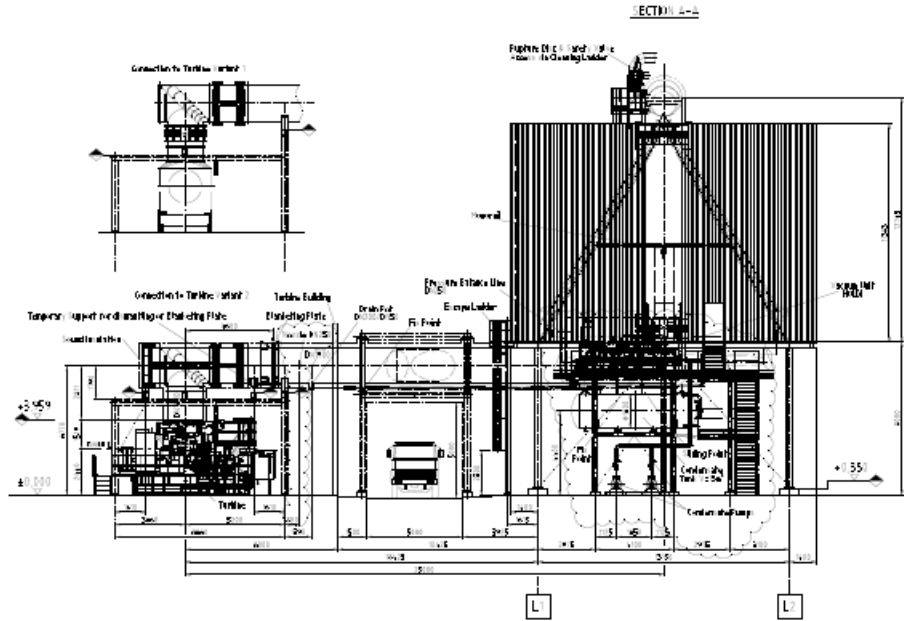


Fig. 91– Desenho em alçado do projeto de execução da central de biomassa (Schug, 2016)

Antes de a obra ser adjudicada, além do preço, das exigências a nível de certificação de qualidade e de qualificação técnica, existe também a questão da disponibilidade da metalomecânica para poder produzir nos prazos que estão definidos, pois esta questão tem de ser bem definida logo à partida. Neste caso, como é visível na figura 92 não havia qualquer impedimento neste sentido.

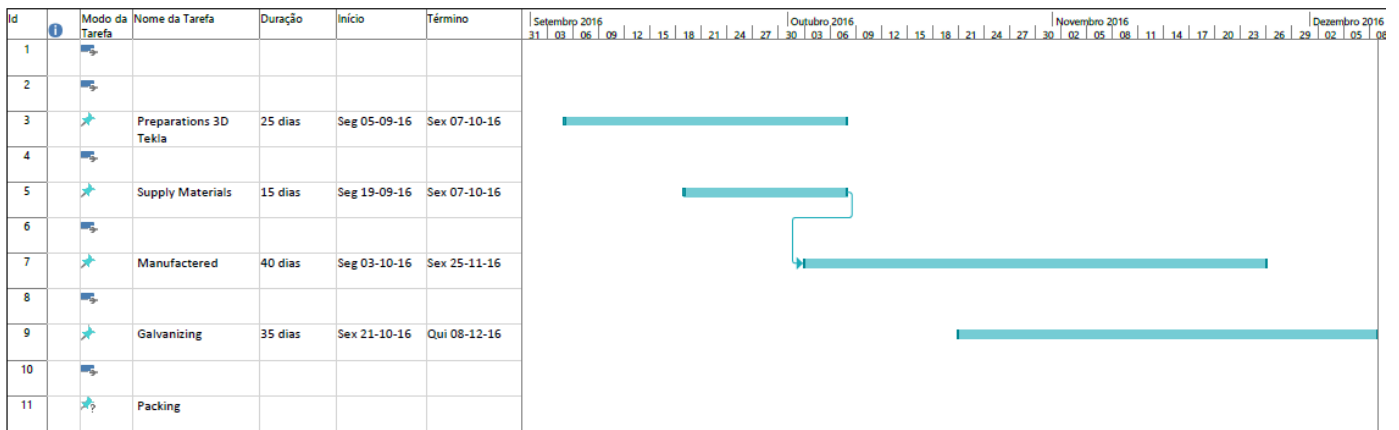


Fig. 92 - Planeamento de produção

Após adjudicação da obra, deu-se início á preparação da mesma com a equipe técnica de preparação de obra, que criou modelos tanto para o fabrico como para a montagem da estrutura metálica, usando o software Tekla Structures.

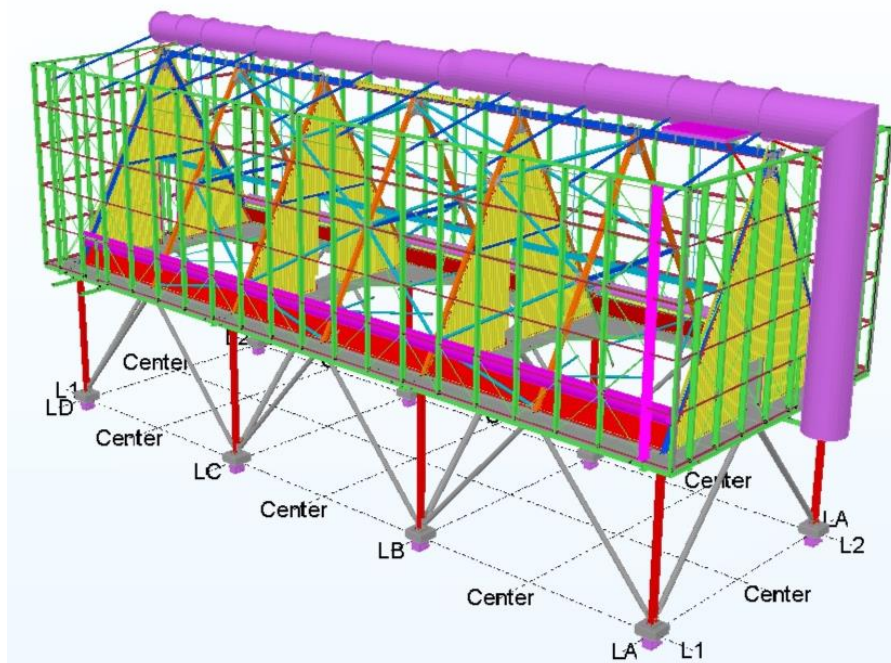


Fig. 93 – Modelação 3D em Tekla Structures da estrutura Condensadores (Araujo, 2017)

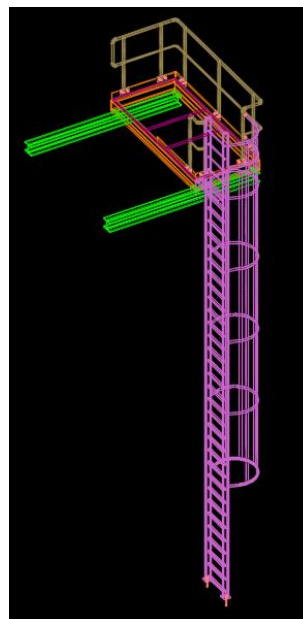
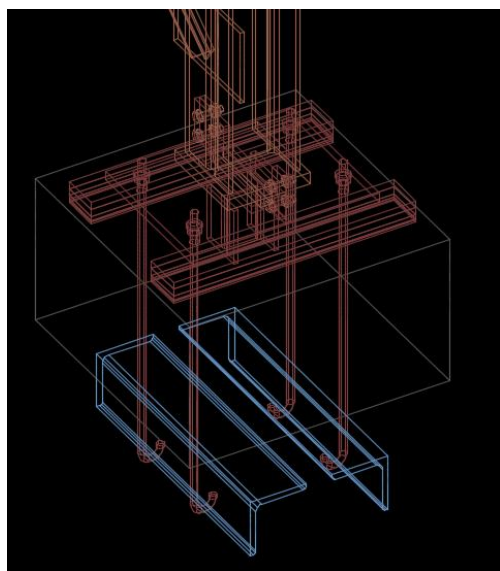


Fig. 94 - A) Modelo 3D de um chumbadouro B) Modelação 3D escada (Araujo, 2017)

6.2 Metodologia Aplicada

Nesta obra a metodologia aplicada foi seguir o plano de controlo de qualidade e o relatório de especificação técnica, normalmente designado por caderno de encargos, onde de seguida foi criado um relatório técnico pela parte da empresa Metaloviana, SA onde foram registados todos os materiais a utilizar com as respetivas classes de aço, tipos de soldadura, soldadores certificados, tipos de ensaios a utilizar, tratamento de superfície do aço, tipo de marcação a efetuar nas peças, tipos de parafusos, anilhas, porcas e procedimentos de montagem. Antes de dar início a qualquer trabalho de produção, tem de haver a aprovação e muitas vezes ensaios para submeter à aprovação, neste caso, da empresa SLCB, através das Fichas de Controlo de Conformidade (FCC) e as Fichas de Controlo e Correção de Não Conformidade (FCCNC). A SLCB tinha um técnico permanente e presente em todas as etapas da execução de estrutura metálica.


| Order No. : 1704K01 | | | | Issued : RP / 26.04.2016 | |  | | | | |
|--|------|---|---------------------|---|---|---|---------------|------|--------|------------|
| Customer : Siemens Brün | | | | Checked : WS / 26.04.2016 | | | | | | |
| Project Name : Probiomass | | | | Released : VW / 26.04.2016 | | | | | | |
| Document No. : 1704K01-QC-3016 | | | | Revision : 00 | | | | | | |
| STEEL STRUCTURE Quality Control Plan | | | | | | | | | | |
| Pos. | Rev. | Test Description | Test Frequency or % | Execution Procedures / Codes | Remarks | Document in Final Documentation | Inspection by | | | |
| | | | | | | | Supplier | SLCB | Client | End Client |
| 1 SUPPLIER PRIOR MANUFACTURING | | | | | | | | | | |
| 1.1 | | Check Supplier/ Subsupplier Certification | | supplier qualification record acc. To SLCB handbook and work instruction PB-06 Approved supplier to EN 1090 EX2 EN ISO 3834-3 | only EXC2 to clarify | C | | RD | | |
| 1.2 | | Availability of approved / released Documents | 100% | supplier internal quality system | | | X | RD | | |
| 1.3 | | Welding Supervisor Qualification | 100% | Certificate acc. to EN ISO 14731 IWS / IWE | | C | X | HP | | |
| 1.4 | | Welder Qualification | 100% | Certificate acc. to EN ISO 9606-1 | | C | X | HP | | |
| 1.5 | | WPQR | 100% | Review of welding procedure EN ISO 15614-1 | | P | X | HP | | |
| 1.6 | | NDE Operator Qualification | 100% | Review supplier qualification list EN ISO 9712 level 2 | | C | X | HP | | |
| 1.7 | | NDE Inspection of Weld Seams | 100% | Review supplier procedures EN ISO 17637(VT), 17636-1(RT), 17638(MT), 3452(PT), 17640(UT) | | P | X | HP | | |
| 2 TESTING / INSPECTIONS DURING MANUFACTURING | | | | | | | | | | |
| 2.1 | | Raw Material Certificates & Filler Material | 100% | Check certificates (type) - Chemical composition - Mechanical properties | EN 10204-2.2 Filler Material and S235 EN 10204-3.1 Material - S235 | C | X | RI | | |
| 2.2 | | Dimensional Check | 100% | According to drawings | | P | X | RI | | |
| 2.3 | | Visual Inspection of Weld Seam Preparations | 100% | According to drawings; Welding plan; WPS | | P | X | RI | | |
| 2.4 | | Visual Inspection of Welding | 100% | According to drawings; Welding plan; WPS EN ISO 15609; | Whole Work EN ISO 5817C | P | X | RI | | |

Fig. 95 - Exemplo do plano de controlo da qualidade SLCB (não assinado) (Shuangliang Clyde Berger GmbH, 2016)

Segundo o Relatório de Especificação Técnica (RET), esta estrutura teve de ser fabricada e executada respeitando a norma EN 1090 pertencendo á classe de execução EXC2, os materiais a utilizar na obra deverão satisfazer as condições nele referidas.

Os materiais e elementos de cada lote só puderam ser aplicados na obra depois de efetuada a sua receção pela fiscalização. A receção foi feita com base na verificação de que satisfazem as características especificadas no RET.

Antes da receção de cada lote, foi elaborado pela Metaloviana um boletim de receção onde constam os seguintes dados:

- Identificação da obra;
- Designação do material ou do elemento;
- Número do lote;
- Data de entrada em obra;
- Decisão de receção e visto da fiscalização.

Ao boletim de receção foram anexados os seguintes documentos:

- Certificado de origem;
- Guia de remessa;
- Boletins de ensaio;
- Desenhos para posterior montagem;
- Listagem de elementos;
- Certificados de produção certificada;
- Certificado de tratamento de superfície;
- Documentação de marcação, expedição e transporte.

No final da obra, foi criado um dossier onde estes documentos foram todos integrados.




| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;">    </div> </div> | | | | | | | | | |
|---|---------------------|------------|---|------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------|-------|
| CONTROLO DA RECEÇÃO DE MATERIAL | | | | | | | | | |
| OBRA | Central de Biomassa | | | | | NÚMERO | FE0465.2016 / FE0289.2016 (1704K01) | | |
| Dt Doc. | Tipo Doc. | Nº Doc. | Material | Qtd. | N.º Certificado | Colada (HN-PN) | Fabricante | Fornecedor | Marca |
| Dt Doc. | Doc. Type | Doc. No. | Material | Qty | No. Certificate | Cerada (HN-PN) | Manufacturer | Supplier | Brand |
| 14/02/2017 | GT | 2017/8408 | Varão semalharia Perfis laminados 32*8100 | 5 | 16/0016614 | 18325 | Siderurgica sevellana | Antero | |
| 12/10/2016 | GT | 2016/48125 | Viga HEAD Perfis 180*6100 | 1 | 1691869 | 2163179 | Siderurgica Balboa | Antero | |
| 27/09/2016 | GR | A1/016014 | Cant Abas IG S275JR40*4 - 6100 | 3 | ZAR 527572 | 131081 | ArcelorMittal Zaragoza | FAF | |
| 27/09/2016 | GR | A1/016015 | Cant. Abas IG S275 JR 40*4 - 6100 | 2 | ZAR 530156 | 131290 | ArcelorMittal Zaragoza | FAF | |
| | | | Viga S275JR HEA 180*6,100M | 1 | OLA 1232797 | 164065 | ArcelorMittal Zaragoza | FAF | |
| | | | Viga S275JR HEA 180*14,100M | 1 | OLA 1097413 | 149463 | ArcelorMittal Zaragoza | FAF | |
| | | | Viga S275JR HEA 180*15,100M | 3 | OLA 1232797 | 164065 | ArcelorMittal Zaragoza | FAF | |
| | | | Viga S275JR HEA 180*16,100M | 4 | 2329717 | CE199582 | Celsa Group | FAF | |
| | | | Viga S275JR HEB 260*13,100M | 1 | OLA 1191623 | 159727 | ArcelorMittal Zaragoza | FAF | |
| | | | Viga S275JR IPE 220*13,100M | 1 | BER 463272 | 563346 | ArcelorMittal Zaragoza | FAF | |
| 27/09/2016 | GR | A1/016016 | Viga S275JR IPE 220*8,100M | 1 | BER 463273 | 563346 | ArcelorMittal Zaragoza | FAF | |
| | | | Viga S275 JR IPE 330*9,100M | 4 | OLA 1257760 | 166256 | ArcelorMittal Zaragoza | FAF | |
| | | | Viga S275 JR IPE 360*15,100M | 3 | OLA 1267547 | 167594 | ArcelorMittal Zaragoza | FAF | |
| | | | Viga S275 JR IPE 400*12,100M | 1 | OLA 1246934 | 165452 | ArcelorMittal Zaragoza | FAF | |
| | | | Viga S275 JR IPE 400*14,100M | 1 | OLA 1258073 | 165476 | ArcelorMittal Zaragoza | FAF | |
| 28/09/2016 | GR | 2016/45637 | Viga S275JR IPE 450*9,050M | 2 | 1690484 | 2163268 | Siderurgica Balboa | FAF | |
| | | | Viga S275 JR UPN 260*6100M | 1 | 1688573 | 2162374 | Siderurgica Balboa | FAF | |
| 28/09/2016 | GR | 2016/45637 | Tubo Red Soldado 139,70*6,00*12000 | 2 | 1602430 | 263794 | Tubos Aranda | Antero | |

Fig. 96 – Exemplo de tabela de controlo da receção de perfis metálicos (Metaloviana, S.A., 2016)

Para dar resposta certificada, pela parte da empresa Metaloviana, tem de existir um plano interno, como já foi dito nos capítulos anteriores, enquadrando as exigências de cada obra ao plano do sistema de gestão da qualidade implementado, como é visível na figura 96.

| METALOVIANA METALÚRGICA DE VIANA, S.A. | | PLANO DE INSPEÇÃO E ENSAIO - PIE | | | | | | | |
|---|---|----------------------------------|----------------------------|-------------------------|---|---|--|------------------------|-------------------------------|
| Obra: | PROBIOMASSA | Nº Obra | FE0281.2016 FE0465.2016 | Cliente | Shuangliang | Classe de Execução | EXC2 | | |
| Ponto | Atividade | Tipo de inspeção | Responsável | Meios | Frequência | Critério de Aceitação | Norma/ Procedimento | Registo | Validação Partes interessadas |
| 1. Receção de Materiais | | | | | | | | | |
| 1.1 | Identificação dos materiais de acordo com a encomenda | Documental e visual | DP | Documento de inspeção | 100% | Mapa de Controlo de Receção de Produtos | Materiais rececionados de acordo com o mencionado na encomenda e documento de fornecimento | Documento de inspeção | |
| 1.2 | Dimensões e tolerâncias | Dimensional e Visual | DP/DC | Fita métrica/Paquimetro | Mapa de Controlo de Receção de Produtos/ 100% | Mapa de Controlo de Receção de Produtos: Produtos em aço Estrutural: Metal Base : Chapas, perfil de secção aberta em aços conforme tabelas do cliente Perfis tubulares em aço conforme tabelas do cliente EN10219 e EN10210 >Tolerâncias de espessura: classe A >Estado de superfície: Planos- Classe A2; Longos-Classe C1 | Mapa de Controlo de Receção de Produtos Caderno de Encargos/desenhos >EN10029 >Planos EN10163-2; Longos EN10163-3 | MOD. 106 | |
| 1.3 | Dimensões e tolerâncias | Visual | DP/DC | — | Mapa de Controlo de Receção de Produtos/ 100% | Parafusaria - Em conformidade com tabelas do cliente Metal de Adição >Compatíveis com os materiais a soldar | | | |
| 1.3 | Análise dos documentos de inspeção | Visual | DQAS | Documento de inspeção | 100% | Mapa de Controlo de Receção de Produtos: >Aços estruturais - certificado 3.1 >Consumíveis para soldadura - certificado 2.2/3.1 >Conjuntos para ligações aparafusadas, varões, pernos - Certificado conformidade / declaração de conformidade | Mapa de Controlo de Receção de Produtos/ EN1090-2 | Documentos de inspeção | |

Fig. 97 – Exemplo do plano de inspeção e ensaio relativamente à parte de receção dos materiais (Metaloviana, S.A., 2016)

Para cada uma das fases foi seguido este procedimento, seguindo o Plano de Controlo de Qualidade estipulado pela SLCB, respeitando o RET e enquadrando-os com o plano da gestão da qualidade implementado na Metaloviana, dando origem consequentemente a Fichas de Controlo de Conformidade (FCC) ou Fichas de Controlo e Correção de não conformidade (FCCNC), derivadas do resultado dos ensaios, dos certificados ou falta deles e dos boletins ou fichas de registo.

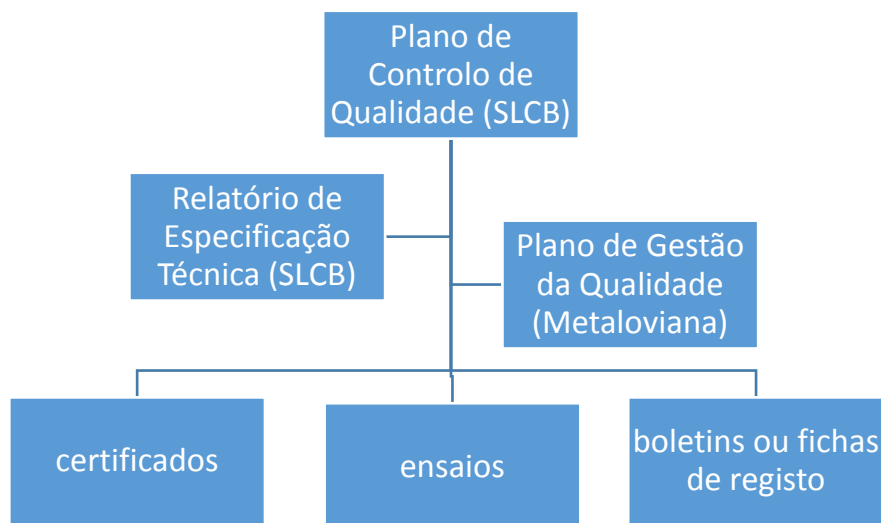


Fig. 98 – Organograma de metodologia aplicada na fiscalização da execução da estrutura metálica da central de biomassa

Para finalizar, na aprovação ou não aprovação pela SLCB terá de ser assinada a devida documentação. Se não for aprovada terá de se resolver a situação, nomeadamente remoção da parte mal executada e em último caso fabricação total do elemento em questão.

6.3 Apresentação e Análise de Resultados

Como já foi supracitado existem 6 fases onde foram aplicados estes procedimentos, estão a baixo representados alguns casos de aplicação.

6.3.1 Receção e verificação de documentação

Na receção dos materiais, verificou-se se os mesmos se faziam acompanhar dos certificados e se respeitavam as normas e a qualidade definida no RET. Após verificação e preenchimento das FCC, pois nesta etapa não houve nenhuma anomalia não dando asso a FCCNC, por parte da empresa Metaloviana (figura 99), submeteu-se toda a documentação para aprovação á SLCB. Tendo sido todos os materiais aprovados. Nesta etapa foram também apresentados alguns documentos exigidos pela empresa SLCB, como certificados de soldadores e serralheiros mecânicos, certificados de fiscais de todas as etapas de fabrico efetivos da Metaloviana, certificação de Soldadura da Metaloviana, etc.

| Order No. : 1704K01 | | Issued : MT / 15.07.2016 | |  | | | | | | |
|--------------------------------------|------|---|---------------------|---|----------------------|---------------------------------|---|------|--------|------------|
| Customer : Siemens Brün | | Checked : WS / 15.07.2016 | | | | | | | | |
| Project Name : Probiomass | | Released : WS / 15.07.2016 | | | | | | | | |
| Document No. : 1704K01-QC-3016 | | Revision : 01 | | | | | | | | |
| STEEL STRUCTURE Quality Control Plan | | | | | | | | | | |
| Pos. | Rev. | Test Description | Test Frequency or % | Execution Procedures / Codes | Remarks | Document In Final Documentation | Inspection by | | | |
| | | | | | | | Supplier | SLCB | Client | End Client |
| 1 SUPPLIER PRIOR MANUFACTURING | | | | | | | | | | |
| 1.1 | 01 | Check Supplier/ Subsupplier Certification | | supplier qualification record acc. To SLCB handbook and work instruction PB-08 Approved supplier to EN 1090 EX2 EN ISO 3834-2 | only EXC2 to clarify | C |  | | | |
| 1.2 | | Availability of approved / released Documents | 100% | supplier internal quality system | | |  | | | |
| 1.3 | | Welding Supervisor Qualification | 100% | Certificate acc. to EN ISO 14731 IWS / IWE | | C | | | | |
| 1.4 | | Welder Qualification | 100% | Certificate acc. to EN ISO 9606-1 | | C | | | | |
| 1.5 | | WPQR | 100% | Review of welding procedure EN ISO 15614-1 | | P | | | | |
| 1.6 | | NDE Operator Qualification | 100% | Review supplier qualification list EN ISO 9712 level 2 | | C | | | | |
| 1.7 | | NDE Inspection of Weld Seams | 100% | Review supplier procedures EN ISO 17637(VT), 17638-1(RT), 17638(MT), 3452(PT), 17640(UT) | | P |  | | | |

Fig. 99 – Documentação verificada e aprovada na receção dos materiais (Shuangliang Clyde Berger GmbH, 2016)

6.3.2 Fabrico

Nesta etapa, foi também apresentada uma série de documentação, para ser verificada, como certificação de materiais de adição de soldadura, certificação e calibragem de equipamentos, verificação de desenhos modelados antes de dar início aos trabalhos.

Não havendo nenhum impasse, deram-se início aos trabalhos onde estavam permanentemente os técnicos e engenheiros técnicos de fiscalização da Metaloviana e por vezes de empresas exteriores de fiscalização.

Antes de realizar qualquer soldadura tinha de ser estudado o Welding Plan (Plano ou Projeto de Soldadura), para verificar se era necessário chanfrar algum elemento e qual a Especificação do Processo de Soldadura (EPS) a utilizar, dependendo sempre da espessura e da composição dos materiais dos elementos a unir.

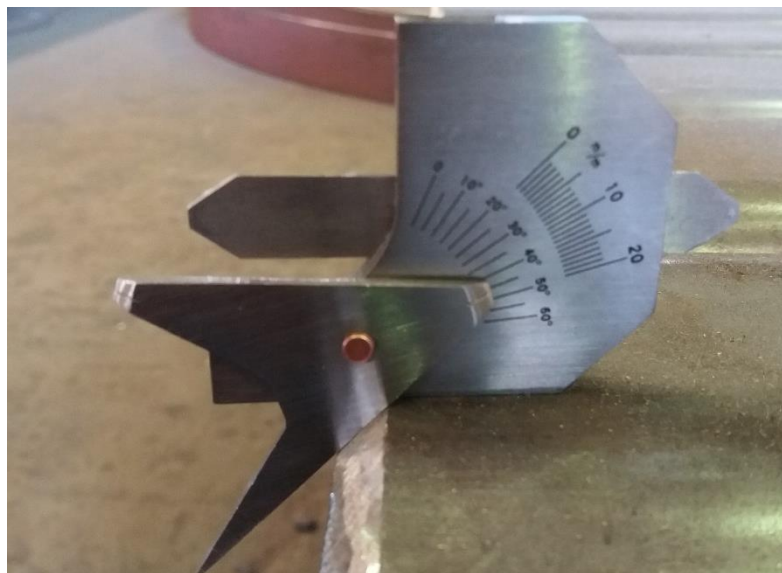


Fig. 100 – Medição do ângulo de chanfro para posterior soldagem (arquivo pessoal)

Neste caso, como é visível na figura 100, era necessário realizar uma soldadura topo a topo, onde é preciso chanfrar a chapa de aço antes de a soldar. Realizou-se um ensaio de controlo dimensional onde se verificou que o chanfro estava bem concebido e que se podia dar início ao processo de soldadura.

Depois de as soldaduras estarem executadas tem de se verificar se as mesmas estão perfeitas e se o tamanho dos cordões respeitam o Welding Plan (WP).



Fig. 101 – Medição do cateto de soldadura (arquivo pessoal)

Na figura 101 é possível observar um ensaio de controlo dimensional de um cateto de soldadura, onde o mesmo tem 8,5mm. Sabendo que:

$$L \pm \frac{3}{4}a$$

a- é a espessura do cordão

Z- é o cateto

$$L \pm \frac{3}{4}a$$

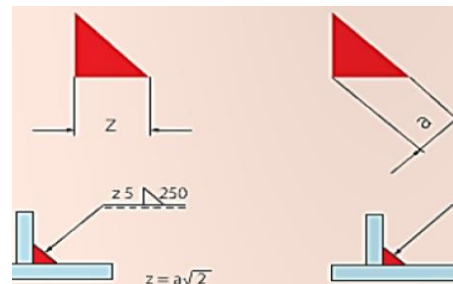



Fig. 102 – Representação Esquemática Cateto de soldadura (Silva F. J., 2016)

Determinamos que a espessura do cordão, $L \pm \frac{3}{4}a$. Concluindo assim que esta soldadura tinha a espessura pretendida.

Todas as soldaduras efetuadas foram registadas, constando o nome do técnico de soldadura, por vezes o do serralheiro ajudante, a EPS utilizada e o lote do material de adição.



METALOVIANA

ALUMINIO E AÇO

Rastreabilidade de Soldaduras

| | | | | | |
|---------------|---|--|--|--|--|
| Nome da Obra: | PROBIOMASS - Central da biomassa | | | | |
| Cliente: | Siemens Brün | | | | |
| Obra nº: | FE0281.2016 | | | | |
| Desenho nº.: | 1704K01-DR-3120-001_00 Substructure Columns Part 1 Assembly WPLAN | | | | |
| | 1704K01-DR-3120-002_00 Substructure Columns Part 2 Assembly WPLAN | | | | |

Rastreabilidade de Soldaduras

| C/1 | Lote Fio | Nº | EPS | Soldador | Serralheiro |
|-----|------------|----|---------|----------|-------------|
| A | PAFC161234 | W1 | EPS.050 | L | |
| | " " | W2 | EPS.046 | L | |
| B | PAFC161234 | W1 | EPS.050 | M | |
| | " " | W2 | EPS.046 | M | |

Fig. 103 – Rastreabilidade de Soldaduras (Metaloviana, S.A., 2015)

Todas as soldaduras foram sujeitas a ensaios, onde os ensaios através de controlo visual foram usados a 100%, usando depois ensaios de líquidos penetrantes ou de partículas magnética para rastrear defeitos superficiais e Ultra-sons (UT) ou Radiografia (RT) para defeitos no interior das soldaduras.

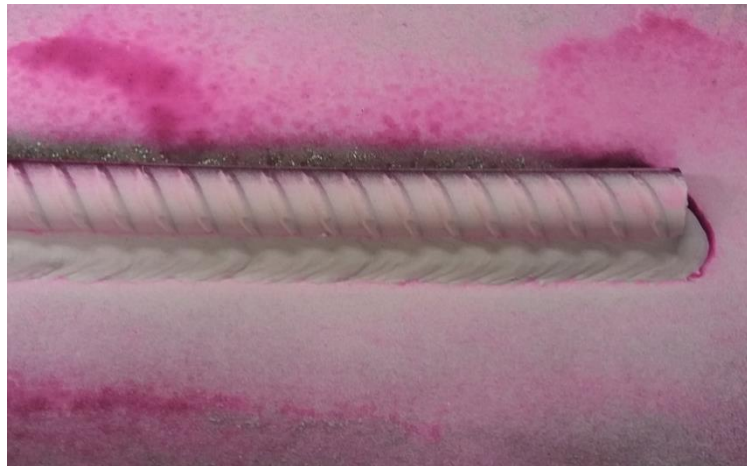


Fig. 104 – Ensaio não destrutivo de soldadura através de líquidos penetrantes (arquivo pessoal)

Na figura 104, é possível observar um ensaio de soldadura através de líquidos penetrantes. Para realizar este END começou por se fazer **uma limpeza superficial**, seguindo-se pela **aplicação de um líquido penetrante** de cor branca, de seguida aplicou-se **um líquido revelador** de cor magenta e para terminar foi realizada uma limpeza superficial do cordão de soldadura.



Fig. 105 – Exemplo de Kit de Ensaio de Líquidos Penetrantes (Alusolda, 2017)

No final, como o mesmo não apresentava vestígios do líquido revelador (tinta magenta) pode concluir-se que a soldadura não tinha fissuras nem poros. Ambos os líquidos são laváveis com água.



Fig. 106– Ensaio Não Destrutivo de Soldadura através de UT (arquivo pessoal)

Na figura 106 é possível observar um END de Ultra-Sons (UT), este baseia-se na transmissão de ondas sonoras de alta frequência no material a inspecionar. Estas ondas refletem-se ao incidir numa superfície de separação de dois meios com propriedades acústicas diferentes, como é o caso de um defeito ou uma descontinuidade. Quando as reflexões são recebidas pela sonda é possível detetar e localizar os defeitos, apenas temos de conhecer o tempo do percurso, a velocidade de propagação do som e o ângulo de emissão.

Antes de realizar este ensaio é necessário aplicar um líquido acopolante entre a sonda e a peça a inspecionar, para permitir assim a transmissão do som de um material para o outro.

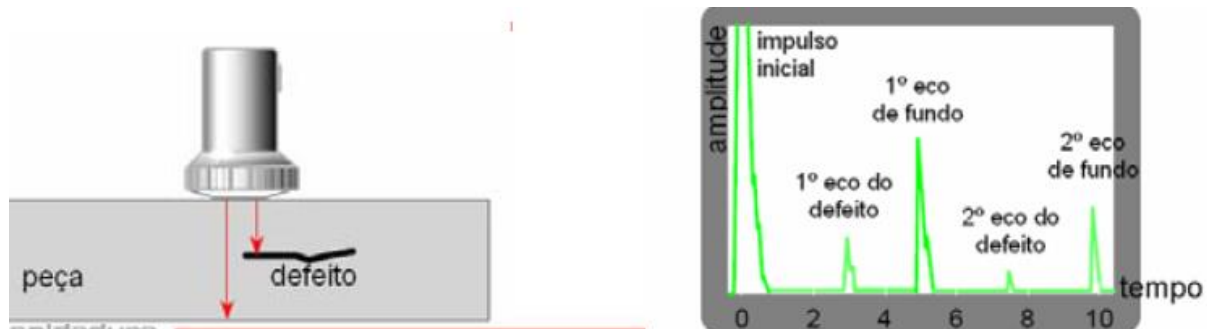


Fig. 107 – Metodologia de Funcionamento do END por UT (Santos, 2015)

Foram também realizados END's através de Radiografias, normalmente mais frequentes em perfis tubulares, pois torna-se mais simples, prático e eficaz.




Fig. 108 – Ensaio Não Destrutivo de Soldadura através de Radiografia (arquivo pessoal)

Antes de ser efetuado o END por Radiografia, tem de se delimitar e isolar a área para os funcionários não levarem com radiação. De seguida é preciso limpar a superfície do material, e dependendo da peça, da sua espessura e material escolher o tipo de filme e radiação a utilizar, neste caso foi Raio-x.

Neste END uma descontinuidade do material origina uma diferença na intensidade da radiação transmitida tornando possível identificar e analisar os defeitos, normalmente visíveis no filme com uma tonalidade mais escura.

Aleatoriamente eram exigidos ensaios de empresas certificadas exteriores à parte da Qualidade interna da Metaloviana S.A., em alguns casos foi a empresa Energest, e o tipo de ensaio exemplificativo é de controlo visual e dimensional, figura 109.



energest

Avenida de Dom João I, nº 801 - 4425-138 MAIA

Assunto: Small Piping

METALOVIANA P/ PROBIOMASS

Proj. nº:

N.ª Ref.: 03.1813/17

V.ª Ref.:

CONTROLO VISUAL E DIMENSIONAL

Inspeção Visual

A Produção inspeciona visualmente todos os equipamentos no final do processo de fabrico. Esta inspeção pode fornecer informações essenciais sobre o estado do equipamento:

- danos visíveis, tais como por exemplo fissuras, empenos, desgste, corrosão, etc.
- defeitos ocultos que apresentam uma irregularidade na superfície externa que podem sugerir um possível defeito mais grave no interior

Esta inspeção é limitada a superfícies visíveis e não foi projetada para caracterizar os defeitos.

| Tipo de Controlo | Descrição | Meio | Resultado | | | Notas |
|----------------------|---|--------|-----------|--------|----|-------|
| | | | Ok | Não Ok | NA | |
| Corte de materiais | Traçagem e corte dos materiais conforme os desenhos e tolerâncias definidas | Visual | ✓ | | | (1) |
| Chapa e tubos | Isenção de riscos, mossas e defeitos superficiais | | ✓ | | | |
| Abertura de picagens | Traçagem e abertura de tubuladuras conforme os desenhos e tolerâncias definidas | | ✓ | | | (1) |
| Preparação de juntas | Preparação das juntas para soldadura conforme | | ✓ | | | |
| Soldadura | Isenta de poros, uniforme e com penetração | | ✓ | | | |
| Inspeção final | Antes da expedição, verificar que não existem defeitos visíveis | | | | ✓ | |

Fig. 109 – Exemplo de Ensaio Não Destrutivo Efetuado por uma empresa exterior á Metaloviana (Energest, 2017)

Na fase final eram assinadas todas as documentações de conclusão, neste caso, com êxito das etapas em questão.

| 2 TESTING / INSPECTIONS DURING MANUFACTURING | | | | | | | |
|--|---|------|---|---|---|---------------------------|--|
| 2.1 | Raw Material Certificates & Filler Material | 100% | Check certificates (type) - Chemical composition - Mechanical properties | EN 10204-2.2 Filler Material and S235 EN 10204-3.1 Material > S235 | C | Qualidade, Ambiente e Seg | |
| 2.2 | Dimensional Check | 100% | According to drawings | | P | Qualidade, Ambiente e Seg | |
| 2.3 | Visual Inspection of Weld Seam Preparations | 100% | According to drawings; Welding plan; WPS | | P | Qualidade, Ambiente e Seg | |
| 2.4 | Visual Inspection of Welding | 100% | According to drawings; Welding plan; WPS EN ISO 15609; | Whole Work EN ISO 5817C | P | Qualidade, Ambiente e Seg | |
| 2.5 | Weld Seam Surface Crack Test according EN 1090 table 24 | 100% | According to drawings; Welding plan; WPS EN ISO 15609 either MT : EN ISO 9934-1(MT), EN ISO 23278 or PT : EN ISO 3452-1(PT) EN ISO 23277 | Acceptance Level EN ISO 23278 Level 2 or EN ISO 23277 Level 2X | P | Qualidade, Ambiente e Seg | |
| 2.6 | Weld Seam Volume Test according EN 1090 table 24 | 10% | Acc. to drawings and part list; Welding plan; either RT : EN ISO 5579(RT), EN ISO 10675-1 or UT : EN ISO 16810(UT), EN ISO 11666 | Acceptance Level EN ISO 10675 Level2 or EN ISO 11666 Level3 | P | Qualidade, Ambiente e Seg | |

Fig. 110 - Documentação verificada e aprovada na etapa do fabrico (Shuangliang Clyde Berger GmbH, 2016)

6.3.3 Tratamento de superfície

Na estrutura metálica o tratamento de superfície a aplicar era galvanização por imersão a quente. O material foi primeiro **decapado ao grau SA 2 1/2**, na cabine de decapagem da Metaloviana, respeitando todas as normas e processos inerentes á boa execução do mesmo, onde no final era

feita uma verificação através de fotografias para fiscalizar se a decapagem obedecia ao grau exigido, senão teria de voltar a ser decapado.

Na fase imediatamente a seguir os elementos metálicos eram transportados para a Metalgalva para galvanizar. Após este tratamento de superfície estar concluído, era necessário proceder ao ensaio de controlo dimensional para verificar se o mesmo tinha as micragens exigidas.

No caso exemplificativo da figura 111, foi usado o medidor de espessuras de revestimentos da marca Elecometer e a respetiva sonda para determinar a espessura nos locais pretendidos. Este aparelho, é digital efetua medições em materiais ferrosos e não ferrosos podendo medir as espessuras nos mais variados tipos de revestimentos. Concluiu-se que naquele local a peça tinha 108 microhns respeitando assim o projeto e a norma EN ISO 1461, que diz que a espessura média tem de ter entre 55 a 85 microhns.



Fig. 111 – Ensaio de Controlo Dimensional de Tratamento de Superfície (arquivo pessoal)

O método de aplicação deste ensaio consistia na realização de três leituras em pontos próximos, prevalecendo o valor médio das mesmas e avançando de 3 em 3 metros.

Ao terminar este processo, os elementos tinham de se fazer acompanhar dos devidos certificados.



| Certificado de Tratamento Anticorrosivo <i>Anticorrosive Treatment Certificate Certificat de Traitement Anticorrosion</i> <small>(Certificado tipo/Certificate type / Certificat type: EN 10204/3.1)</small> | | | |
|---|--|---|--|
| | | CERTIFICADO/CERTIFICATE No. CTA146316 | |
| Cliente: <i>Customer Client</i> | METALOVIANA - METALÚRGICA DE VIANA, S.A. | | |
| Morada: <i>Address Adresse</i> | ZONA INDUSTRIAL DE NEIVA - 2ª FASE 4935 - 232 NEIVA | | |
| | ENCOMENDA Nº <i>Order/Pedido/ Commande No.</i> | GT2016BO14/2505- 2016BO14/2504 | |
| | ORDEN VENDA Nº <i>Our Order / Ordre de Vente Nº</i> | 1608371 e 1608446 | |
| | GUIA REMESSA Nº <i>Delivery / Bon de Livraison No.</i> | 626027031 | |
| Produtos: <i>Products Produits</i> | DIVERSO MATERIAL | | |
| 1. TRATAMENTO ANTICORROSIVO / ANTICORROSIVE TREATMENT / TRAITEMENT ANTICORROSION: | | | |
| 1.1. GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO A QUENTE / HOT DIP GALVANIZING / GALVANISATION PAR IMMERSION À CHAUD: | | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 2. REQUISITOS DO REVESTIMENTO / COATING REQUIREMENTS / EXIGENCES DU REVÊTEMENT | | | |
| 2.1. ESPECIFICAÇÃO DO REVESTIMENTO DE ZINCO / ZINC COAT SPECIFICATION / SPÉCIFICATION DU REVÊTEMENT DE ZINC: | | | |
| - NORMA OU DOCUMENTO DE REFERÊNCIA / STANDARD OR REFERENCE DOCUMENT / NORME OU DOCUMENT DE RÉFÉRENCE | | | NP EN ISO 1461 |
| - ESPESSURA MÍNIMA MAIOR OU IGUAL A / MINIMUM THICKNESS MORE THAN OR EQUAL TO / ÉPAISSEUR MINIMUM SUPÉRIEURE OU ÉGALE | | | 45/55/70µm |
| - ESPESSURA MÉDIA MAIOR OU IGUAL A / MEDIUM THICKNESS MORE THAN OR EQUAL TO / ÉPAISSEUR MOYENNE SUPÉRIEURE OU ÉGALE A | | | 55/70/85µm |
| 2.2. DADOS DO REVESTIMENTO / COATING DATA / DONNÉES DU REVÊTEMENT: | | | |
| | VALOR MÁXIMO / MAXIMUM VALUE / VALEUR MAXIMUM | VALOR MÉDIO / AVERAGE VALUE / VALEUR MOYENNE | VALOR MÍNIMO / MINIMUM VALUE / VALEUR MINIMUM |
| ESPESSURA DO REVESTIMENTO DE ZINCO / ZINC COAT THICKNESS / ÉPAISSEUR DU REVÊTEMENT DE ZINC | 290 µm | 131 µm | 67 µm |

Fig. 112 – Exemplo de Certificado de Elemento Metálico (Metalogalva, 2017)

No final todos os documentos e alguns elementos metálicos eram fiscalizados pela empresa SLCB, onde não existiu nenhuma anomalia.

| 3 | GALVANISING | | | | | | | | |
|-----|--|------------------|----------------------------------|--|--|---|--|--|--|
| 3.1 | Inspection of prepared goods for galvanizing | 1 probe / charge | supplier internal quality system | | | P | | | |
| 3.2 | Galvanized Parts Thickness Test | 100% | according EN ISO 1461 | | | C | | | |

Fig. 113 – Documentação verificada e aprovada na etapa de tratamento de superfície (Shuangliang Clyde Berger GmbH, 2016)

6.3.4 Expedição e transporte

Nesta fase, por vezes os elementos seguiram diretamente para a obra e outras vezes voltavam para à Metaloviana para reagrupar com outras peças onde seguiram posteriormente para obra. Nesta etapa, como já foi dito antes, é preciso planear e organizar muito bem os lotes tanto para facilitar a montagem como para otimizar os custos de transporte. Além do mais, é necessário muito cuidado no manuseamento, empilhamento e transporte dos elementos metálicos, pois nesta fase já tinham o tratamento de superfície aplicado e qualquer descuido podia danificar o mesmo, implicando depois custos de reparação.



Fig. 114 – Receção em obra de alguns elementos de estrutura metálica (arquivo pessoal)

Ao rececionar o material em obra, apesar de o material já ter sido inspecionado e certificado, convém voltar a fazer uma análise e um registo do mesmo.

Especificidades da Fiscalização de Obras em Construção Metálica

| METALOVIANA, S.A. | | MAPA DE CONTROLO DE OBRA | | SGS SGS SGS | | | |
|---|--|---------------------------|--|---------------------|---|---|------------------------------------|
| Obra: | PROBIOMASS | Data Início: | 23/11/2016 | | | | |
| Ciente: | SHUANGLIANG | Data Fim: | | | | | |
| ESTRUTURA METÁLICA | | | | | | | |
| RECEÇÃO DE MATERIAIS EM OBRA | | | | | | | |
| Descrição | O que Verificar | Frequência de Verificação | Critério de Aceitação | Responsável | Documento de Registo | Em caso de Não Conformidade | Decisão de Conformidade |
| Material com tratamento: Pintura, Galvanização, Lacagem, outros | Aspecto/ Acabamento Superficial | Insp. Visual a 100% | Aspecto Uniforme/ Sem empoamentos/Sem riscos | Encarregado | Rubrica no Documento de Transporte | Identificar o produto não conforme Alertar DCO ou DQAS | Encarregado |
| | Conteúdo do Certificado de Conformidade | Insp. Documental | Espessura conforme encomenda. | DQAS | Certificado de Conformidade/ GR-Factura | | DQAS |
| Produtos Químicos (Silicones Resinas Químicas, tintas, Etc) | Quantidade, Cor, Qualidade e Aspecto da Embalagem, Validade | Insp. Visual a 100% | Quantidade e Qualidade de acordo encomenda | Encarregado | Rubrica no Documento de Transporte | | Encarregado |
| | Parafusos, Porcas, Anilhas, Varões, Buchas Metálicas; Acessórios | Quantidade | Insp. Visual a 100% | Conforme Requisição | Encarregado | | Rubrica no Documento de Transporte |
| Estruturas Metálicas 1) | Aspecto Visual, Quantidades | Insp. Visual a 100% | Sem empenos/ Sem danos | Encarregado | Documento de Transporte do Fornecedor | | Encarregado |
| | Conteúdo do Certificado de Conformidade | Insp. Documental | Conforme Requisição | DQAS | Certificado de Conformidade/ GR-Factura | | DQAS |
| Material de Revestimento 1) | Aspecto Visual, Quantidades | Insp. Visual a 100% | Sem empenos/ Sem danos | Encarregado | Documento de Transporte do Fornecedor | | Encarregado |

NOTA: O ENCARREGADO DEVE RUBRICAR A CONCLUSÃO DE CADA TAREFA EM "DECISÃO DE CONFORMIDADE".

Mod.093/DQAS.1

Fig. 115 – Exemplo do mapa de controlo de obra ao rececionar o material (Metaloviana, S.A., 2017)

| 4 INSPECTIONS AFTER MANUFACTURING | | | | | | | |
|--|--|----------|---|--|---|--|--|
| 4.1 | Quantity and Quality | 100% | conform to specification, drawings and bill of materials and purchase order | | | | |
| 4.2 | Tagging (sampling) | Sampling | Check correct data acc. to drawing | | | | |
| 4.3 | Marking, Packing and Transport Preparation | 100% | supplier internal quality system and conform to specification and drawings | | | | |
| 4.4 | Final Documentation | 100% | Technical SLCB Specification | | | | |
| 4.5 | Certificate of Compliance and Conformity | 100% | acc. EN 1090 EXC2 | | C | | |
| 4.6 | Final Inspection | 100% | | | C | | |
| 4.7 | Pie Shipment Inspection | 100% | | | C | | |
| 4.8 | Quality Release Note | 100% | | | C | | |
| This inspection plan is intended to inform the supplier about the minimum extent of inspection foreseen for the order by SLCB Contractor, Client and/or their representative. | | | | | | | |
| RD = Review Documentation RI = Random Inspection WP = Witness Point HP = Hold Point X = Action by supplier P = Protocol in Final Documentation C = Certification in Final Documentation | | | | | | | |
| Note: Client specifications are also applicable. It is suppliers responsibility to ensure testing upto the extent required by the respective codes / specifications or inspection plan is performed. The most stringent one prevails. | | | | | | | |

Fig. 116 - Documentação verificada e aprovada na etapa de expedição e transporte (Shuangliang Clyde Berger GmbH, 2016)

6.3.5 Montagem

Nesta etapa em primeira instância foi verificado se os chumbadouros e as ancoragens ao betão estavam implantados corretamente e executados como o projeto definia.

Especificidades da Fiscalização de Obras em Construção Metálica

| METALOVIANA, S.A. | | MAPA DE CONTROLO DE OBRA | | | | SGS SGS SGS | |
|---|--|---|--|----------------------------------|--------------------------|---|--|
| Obra: | PROBIOMASS | Data Início: | | | | | |
| Cliente: | SHUANGLIANG | Data Fim: | | | | | |
| ESTRUTURA METÁLICA | | | | | | | |
| 1ª FASE | | | | | | | |
| Descrição | O que Verificar | Frequência de Verificação | Critério de Aceitação | Responsável | Documento de Registo | Em caso de Não Conformidade | Decisão de Conformidade |
| Montagem dos Chumbadouros | Cotas de implantação entre bases de chumbadouros e eixos | Insp. Visual a 100% | Especificado na PTP/ Desenhos | Executante realiza auto controlo | Mapa de Controlo de Obra | Identificar o produto não conforme Alertar DCO ou DQAS | Encarregado <input checked="" type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> NC <input type="checkbox"/> NA |
| | - Distância entre pernos das sapatas | Insp. Dimensional com fita métrica 100% | Especificado na PTP/ Desenhos | Executante realiza auto controlo | Mapa de Controlo de Obra | | Encarregado <input checked="" type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> NC <input type="checkbox"/> NA |
| | - Alinhamento dos pernos | Insp. Visual a 100% | Especificado na PTP/ Desenhos Os pernos devem estar alinhados | Executante realiza auto controlo | Mapa de Controlo de Obra | | Encarregado <input checked="" type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> NC <input type="checkbox"/> NA |
| | - Diâmetros dos pernos | Insp. Dimensional a 100% | Especificado na PTP/ Desenhos | Executante realiza auto controlo | Mapa de Controlo de Obra | | Encarregado <input checked="" type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> NC <input type="checkbox"/> NA |
| Montagem dos Elementos Fixos no Betão (pilares) | - Ligações aparafusadas com porca e anilha (salvo informação em contrário) | Insp. Visual a 100% | Especificado na PTP/ Desenhos | Executante realiza auto controlo | Mapa de Controlo de Obra | | Encarregado <input checked="" type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> NC <input type="checkbox"/> NA |
| | - Pilares centrados com o eixo da base dos chumbadouros | Insp. Visual a 100% | Especificado na PTP/ Desenhos | Executante realiza auto controlo | Mapa de Controlo de Obra | | Encarregado <input checked="" type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> NC <input type="checkbox"/> NA |
| | - Verticalidade dos pilares (ou outro alinhamento indicado na preparação). | Insp. Visual a 100% | Especificado na PTP/ Desenhos | Executante realiza auto controlo | Mapa de Controlo de Obra | | Encarregado <input checked="" type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> NC <input type="checkbox"/> NA |
| METALOVIANA, S.A. Quality Control Controlador de Qualidade <i>SOUZA</i> 23-5-2017 | | | | | | | |
| NOTA: O ENCARREGADO DEVE RUBRICAR A CONCLUSÃO DE CADA TAREFA EM "DECISÃO DE CONFORMIDADE". | | | | | | | Mod.083/DQAS.2 |

Fig. 117 – Exemplo do mapa de controlo de obra relativamente à parte dos chumbadouros e ancoragens (Metaloviana, S.A., 2017)

De seguida, quando começaram os trabalhos de montagem seguiu-se o mesmo processo, não houve grandes anomalias a nível técnico, apenas houve chamadas de atenção pela empresa SLCB devido aos montadores por vezes facilitarem em questões de segurança, apesar de não terem acontecido acidentes.

Relativamente às ligações aparafusadas, o projeto não definia nenhum momento de aperto, no entanto não podia haver folgas entre as porcas e os parafusos ou varões roscados. Os montadores usaram chaves de impacto para executarem estes trabalhos.



Fig. 118 – Chave de Impacto (Makita, 2017)

Após a montagem, a fiscalização selecionava aleatoriamente algumas ligações e era feita a verificação do aperto das mesmas.

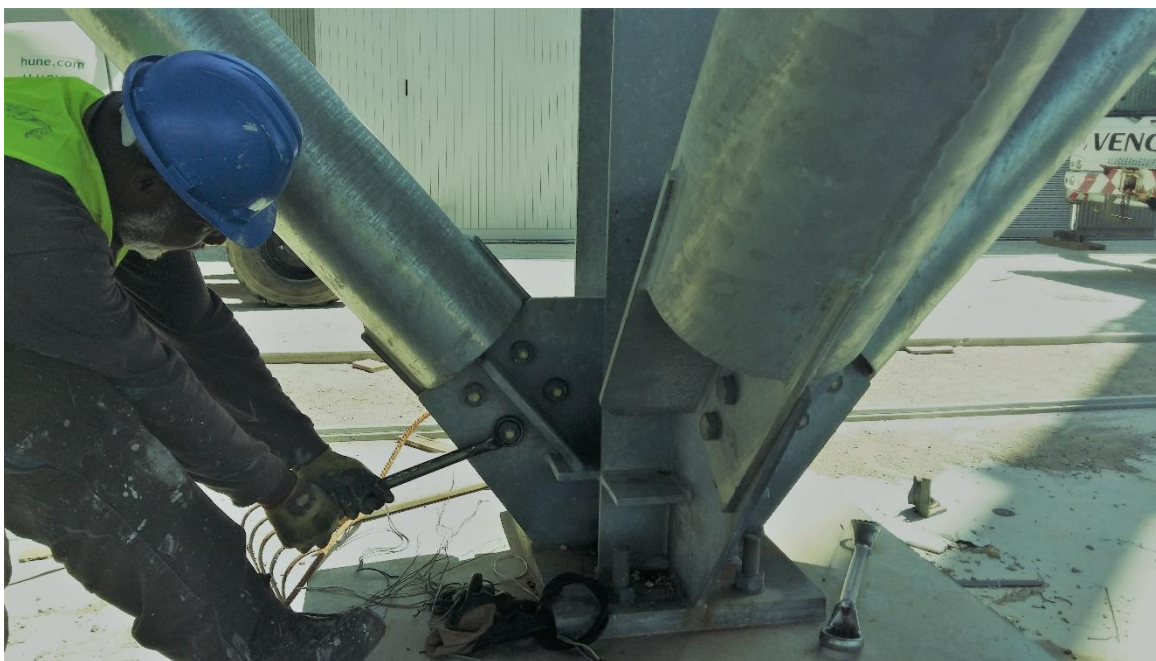


Fig. 119 – Verificação Momento de Aperto (arquivo pessoal)

| METALOVIANA, S.A. | | MAPA DE CONTROLO DE OBRA | | | | SGS SGS SGS | |
|---|---|---|--|---|--------------------------|---|---|
| Obra: | PROBIOMASS | Data Início: | | | | | |
| Cliente: | SHUANGLIANG | Data Fim: | | | | | |
| ESTRUTURA METÁLICA MONTAGEM ESTRUTURAS METÁLICAS | | | | | | | |
| Descrição | O que Verificar | Frequência de Verificação | Critério de Aceitação | Responsável | Documento de Registo | Em caso de Não Conformidade | Decisão de Conformidade |
| Montagem dos Restantes Elementos da Estrutura | -comprimentos das peças com o comprimento disponível entre peças ou fixações; | Insp. Dimensional com fita métrica 100% | Especificado na PTP/ Desenhos | Executante realiza auto controlo | Mapa de Controlo de Obra | Identificar o produto não conforme Alertar DCO ou DQAS | Encarregado <input checked="" type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> NC <input type="checkbox"/> N/A |
| | -implantações das fixações | Insp. Dimensional com fita métrica 100% | Especificado na PTP/ Desenhos | Executante realiza auto controlo | Mapa de Controlo de Obra | | Encarregado <input checked="" type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> NC <input type="checkbox"/> N/A |
| | - Diâmetros e distâncias dos furos dos elementos | Insp. Dimensional com fita métrica 100% | Especificado na PTP/ Desenhos | Executante realiza auto controlo | Mapa de Controlo de Obra | | Encarregado <input checked="" type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> NC <input type="checkbox"/> N/A |
| | -Existência de deformações ou rotações das peças anómalas | Insp. Dimensional com fita métrica e nível 100% | Ausência de deformações e rotações das peças | Executante realiza auto controlo | Mapa de Controlo de Obra | | Encarregado <input checked="" type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> NC <input type="checkbox"/> N/A |
| Ligações Aparafusadas | Aperto de todos os elementos de fixação com chave manual, ou com aparelho de fixação e Pré-esforço em parafusos com o momento de aperto especificado; | Chave Dinamométrica/ 100% Visual | Chave dinamométrica calibrada Momentos de aperto especificados na PTP/ Caderno de Encargos/PIE com Tolerância $\pm 3Nm$ | Encarregado | Mapa de Controlo de Obra | Encarregado <input checked="" type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> NC <input type="checkbox"/> N/A | |
| Ligações Soldadas Críticas | Aspecto visual do cordão de soldadura <i>celso, Aguiar, Miguel, Miguel Almeida, Agre.</i> | Insp. Visual a 100% | - Soldaduras sem impurezas, fissuras e poros - Realizadas por soldadores qualificados | Executante realiza auto controlo /Encarregado | Mapa de Controlo de Obra | Encarregado <input checked="" type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> NC <input type="checkbox"/> N/A | |
| Ligações Soldadas Não Críticas | Aspecto visual do cordão de soldadura | Insp. Visual a 100% | - Soldaduras sem impurezas, fissuras e poros | Executante realiza auto controlo | Mapa de Controlo de Obra | Encarregado <input checked="" type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> NC <input type="checkbox"/> N/A | |

METALOVIANA, S.A. 5004
Quality Control
Control de Qualidade 23-5-2017

NOTA: O ENCARREGADO DEVE RUBRICAR A CONCLUSÃO DE CADA TAREFA EM "DECISÃO DE CONFORMIDADE".

Mod.063/DQAS.2

Fig. 120 - Exemplo do mapa de controlo de obra relativamente á parte da montagem e das ligações (Metaloviana, S.A., 2017)

Especificidades da Fiscalização de Obras em Construção Metálica

| METALOVIANA, S.A. | | MAPA DE CONTROLO DE OBRA | | | | SGS SGS SGS | |
|--|--|---|--|-------------|---|---|---|
| Obra: | PROBIOMASS | Data Início: | | | | | |
| Cliente: | SHUANGLIANG | Data Fim: | | | | | |
| FINAL DA MONTAGEM <i>ESTRUTURA METÁLICA</i> | | | | | | | |
| Descrição | O que Verificar | Frequência de Verificação | Critério de Aceitação | Responsável | Documento de Registo | Em caso de Não Conformidade | Decisão de Conformidade |
| Final da Montagem | -Desvios, esquadria, ângulos, deformações, cedência dos elementos de fixação | Insp. Dimensional com fita métrica e nível 100% | Especificado na PTP/ Desenhos | Encarregado | Mapa de Controlo de Obra | Identificar o produto não conforme Alertar DCO ou DQAS | Encarregado C NC NA <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| | - Aperto de todos os elementos de fixação com chave manual, ou com aparelho de fixação | 100% Visual | Chave dinamométrica calibrada Momentos de aperto especificados na PTP/ Caderno de Encargos/PIE com Tolerância $\pm 3Nm$ | Encarregado | Mapa de Controlo de Obra | | Encarregado C NC NA <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| | - Pré-estorço em parafusos, com o momento de aperto especificado. | 10% Visual 10% Dimensional | Chave dinamométrica calibrada Momentos de aperto especificados na PTP/ Caderno de Encargos/PIE com Tolerância $\pm 3Nm$ | Encarregado | Mapa de Controlo de Obra / Mod.087/DQAS | | Encarregado /DCO/DQAS C NC NA <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> |
| | - Acabamento superficial | 10% Visual | Acabamento Superficial isento de defeitos (falta de tinta, escorridos, bolhas, impurezas) | Encarregado | Mapa de Controlo de Obra | | Encarregado C NC NA <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| METALOVIANA, S.A. Quality Control Control de Qualidade <i>23-5-2017</i> | | | | | | | |
| NOTA: O ENCARREGADO DEVE RUBRICAR A CONCLUSÃO DE CADA TAREFA EM "DECISÃO DE CONFORMIDADE". | | | | | | Mod.083/DQAS.2 | |

Fig. 121 - Exemplo do mapa de controlo de obra relativamente á parte do final da montagem (Metaloviana, S.A., 2017)

6.3.6 Manutenção e Limpeza

Relativamente a esta fase, foi entregue ao cliente um plano de manutenção e limpeza com o objetivo de evitar acidentes, preservando o meio e mantendo a integridade e o pleno funcionamento das estruturas metálicas.

A execução de inspeções técnicas rotineiras e preventivas, com ações de manutenção garantem a não evolução da deterioração dos elementos construtivos. Assim sendo, devem ser respeitadas pelo cliente todas as especificações de manutenção e limpeza desse plano.

| Estrutura Metálica | | |
|---|---|---------------|
| Aplicação | Aspetos | Periodicidade |
| Elementos Estrutura Metálica e Serralharias | <p>1- Efetuar verificação dos aspetos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Existência de deformação dos elementos metálicos - Existência de fendas e/ ou empenos nos elementos metálicos - Esmagamentos localizados - Verificar o aperto das ligações aparafusadas - Humidades - Soldaduras com corrosão ou fendas ou outros defeitos <p>Sempre que seja detetada uma situação anómala devem contactar um Técnico especializado para efetuar a correção e caso se justifique devem ser efetuados ensaios adequados à intervenção efetuada</p> | 1-Anual |
| | <p>2- Efetuar verificação dos aspetos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Existência de sujidade superficial e acumulação de detritos - Existência de degradação biológica, por efeito de fungos, etc <p>Deve ser efetuada a limpeza com recurso a produtos não abrasivos e não corrosivos ou outros que podem danificar os elementos existentes.</p> | 2-Semestral |

Fig. 122 - Exemplo de uma parte do plano de manutenção e limpeza (Metaloviana, S.A., 2017)



Fig. 123 - Foto da Estrutura dos Condensadores em Fase Final (arquivo pessoal)

7. Conclusões

7.1 Conclusões Gerais

Como foi referido no capítulo introdutório, este trabalho pretende representar um contributo de apoio a um diretor de obra de estruturas metálicas, não pretende inovar ou tentar implementar algum sistema de apoio á fiscalização. Pode afirmar-se que esta tarefa foi cumprida, visto terem sido abordados, compilados e sintetizados praticamente todos os assuntos inerentes à fiscalização da construção metálica. Tendo a perfeita consciência que alguns dos assuntos só estão referidos de maneira superficial, por não ser necessário para o trabalho em questão.

O ritmo e as exigências cada vez maiores da indústria da construção obrigam ao desenvolvimento e implementação de novas soluções construtivas, que permitam uma maior rapidez de execução e conduzam a uma maior economia, melhorando simultaneamente a qualidade de execução e as condições de segurança dos seus executantes e utilizadores tentando minimizar os impactos ambientais. A prefabricação de estruturas metálicas é uma solução que responde, cada vez mais, a estes desafios. Pois, além de ser um tipo de construção sustentável e reciclável é de cariz industrializável, estando os seus processos de fabrico em ‘constante mutação e evolução’.

No entanto, embora seja fácil obter publicações sobre qualidade e consultar os planos, manuais e procedimentos de qualidade de muitas empresas do setor, tal não significa que os procedimentos destinados a garantir que a obra satisfaz as exigências do dono de obra sejam cumpridos ou priorizados. A pressão dos prazos e dos custos parece ocupar a totalidade do tempo dos responsáveis técnicos da maioria dos empreiteiros nacionais, parecendo por vezes um país de terceiro mundo, pois a isso são obrigados. O cenário atual de forte concorrência e preços esmagados, é fruto de vários fatores como a corrupção política que dá asso a adjudicação de obras abaixo do seu custo real originando por sua vez ordenados reduzidos aos seus intervenientes, mas estes temas já dariam origem a outra tese.

Durante a elaboração do presente trabalho foi possível perceber que a principal dificuldade residia na vastidão do tema, comprovável pela diversidade dos materiais, normas e processos aplicáveis, quando comparável com o volume de conteúdos a incorporar numa dissertação com estes contornos.

Acresce ainda o facto de ao fabrico em metalomecânica estarem associados atividades que, normalmente, se inserem no domínio da engenharia mecânica, o que obrigou a esforço de pesquisa adicional agravado pelo facto de o trabalho ter sido efetuado em regime de trabalhador estudante.

Relativamente ao caso de estudo, posso voltar a referir que o uso de check-lists, de FCC's e FCCNC's foi crucial e imprescindível para a correta execução da obra. O processo de execução de estruturas metálicas resulta na sucessão de etapas interdependentes e integradas entre si, o que resulta que as decisões tomadas numa determinada fase tenham em conta os condicionalismos das fases seguintes. Nesta obra não existiram grandes anomalias, corrigindo-se as mesmas facilmente.

O que me ajudou na realização deste trabalho, foi estar a trabalhar neste setor, apesar de estar num departamento diferente do de produção ou qualidade, a abordagem destes assuntos já me foi mais familiar enriquecendo os meus conhecimentos em todos os campos que abrangem esta área.

7.2 Desenvolvimentos futuros

A investigação na área da construção metálica envolve temas muito diversificados, tais como os relacionados com cálculo estrutural, comportamento sísmico, cálculo de ligações, engenharia de soldadura, engenharia mecânica, entre outros. Neste contexto, é quase interminável a lista de temas que se poderia indicar para desenvolvimentos futuros.

Uma sugestão para o desenvolvimento futuro deste trabalho poderia assentar na implementação das FCC e FCCNC em formato digital para preenchimento em obra, como fazem os transitários, visto por vezes em obra não ser prático o preenchimento das mesmas (chuva, vento, etc.).

Outra sugestão passa pela extensão de um dos programas que utiliza o conceito BIM (Building Information Modeling), da fase de projeto até ao acompanhamento das fases em obra.

Num prisma em que as técnicas de fabrico e de construção estão sempre a evoluir, estando as normas e as leis a acompanhar, ou não este cenário, seria também interessante ir “mutando” ou atualizando este trabalho com esta evolução tecnológica face ao cenário normativo.

Numa lógica de fiscalização de soldaduras, seria também interessante incluir nos desenvolvimentos futuros deste trabalho ensaios destrutivos e observar soldaduras no microscópio.



Bibliografia

(n.d.). <http://mapio.net/o/4235856/>.

8501, I. (n.d.). *Fotografias Padrão para determinação de grau de limpeza superficial*. <https://we.tl/JBmXtxr08A>.

Alusolda. (2017). *Líquidos Penetrantes - Ensaio Não Destrutivo*. Goiânia: Alusolda.

António Lamas, P. V. (2001). *Construção metálica e mista 3 : actas / do III Encontro de Construção Metálica e Mista*. CMM - Associação Portuguesa de Construção Metálica e Mista.

Araujo, P. (2017). *Pobiomass Estrutura dos Condensadores*. Viana do castelo: Metaloviana.

Borges, A. S. (2008). *Metodologia da fiscalização de obras - Planos de Controlo de Conformidade Coberturas*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Borges, A. S. (2008). *Metodologia de Fiscalização de Obras – Planos de controlo de Conformidade*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Brasil, I. A. (2012). Produção do Aço. <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABL5EAK/producao-aco?part=2>.

Claro, C. T. (2009). *Plano de Controlo de Conformidade de Estruturas Metálicas*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Clifford, M. N. (2006). *ASM Engenieer data book*. American Society of Mechanical Engineers.

Colaço, R. (2016). *Materiais de Construção - Guia de Utilização*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa.

Costa, J. M. (1995). *Métodos de Avaliação da Qualidade de Projetos de Edifícios de Habitação*. Porto: FEUP.

Decreto-Lei 73 /73. (1973).

Diamantino, P. N. (2014). *Sustentabilidade na Construção Metálica*. Porto: Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Ducassé, P. (1962). *História das técnicas*. Lisboa: Publicações Europa-América.

Energest. (2017). *Cerfificado de Ensaio Não Destrutivo Controlo Visual e Dimensional*. Energest.

Engenheiros, O. d. (2015). <http://www.oern.pt/noticia.php?id=1070>. <http://www.oern.pt/noticia.php?id=1070>.

Esteves, A. B. (2012). *Anomalias De Pintura*. Viana do Castelo: Metaloviana - manual de qualidade.

Ferreira, P. M. (2011). *Evolução da Temperatura em Elementos de Aço Sujeitos ao Fogo*. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa.



- Gervásio, H. M. (2017). A sustentabilidade do aço e das estruturas metálicas. *Portal Metalica*.
- HEMPEL. (n.d.). *Os revestimentos Orgânicos na Proteção Anticorrosiva - nota técnica*. Hempel.
- Jesus, J. d. (2017). *PROJETO DA CENTRAL A BIOMASSA EM VILA NOVA DE FAMALICÃO - EIA*. Julio de Jesus Consultores.
- Jr, A. P. (2015). *Pintura Intumescente*. São Paulo: Aprieto Pintura Industrial.
- Lima, L. (2013). Historia da metalurgia. <http://ometalurgista.blogspot.pt/2013/03/um-resumo-historico-da-metalurgia.html>.
- Loureiro, A. (2013). A soldadura na construção metálica. *Metálica*, nº29, 26-27.
- Makita. (2017). *Chave de Impacto*. Makita.
- Martins, J. G. (2008). *Materiais de Construção II - execução de estruturas metálicas*. Universidade Fernando Pessoa.
- Mascarenhas, J. (2007). *Sistemas de Construção VIII-Estruturas de aço laminado*. Livros Horizonte.
- Metalica. (2017). Tipos de aço e perfis para estrutura metálica de edifícios. pp. <http://www.metalica.com.br/tipos-de-aco-e-perfis-para-estrutura-metalica-de-edificios>.
- Metalogalva. (2017). *Certificado de Tratamento Anticorrosivo*. Metalogalva.
- Metaloviana, S. (2014). *Defeitos de Pintura*. Viana Do Castelo.
- Metaloviana, S.A. (2015). *Rastreabilidade de Soldaduras*. Viana do Castelo: Metaloviana, S.A.
- Metaloviana, S.A. (2016). *Controlo da receção do Material*. Viana do Castelo: Metaloviana, S.A.
- Metaloviana, S.A. (2016). *Plano de Inspeção e Ensaio*. Viana do Castelo: Metaloviana, S.A.
- Metaloviana, S.A. (2017). *Mapa de Controlo de Obra*. Viana do Castelo: Metaloviana, S.A.
- Metaloviana, S.A. (2017). *Plano de Manutenção e Limpeza*. Viana do Castelo: Metaloviana, S.A.
- Metalurgia. (2010). *O que é um alto Forno*. <http://metalurgiaop.blogspot.pt/2010/11/o-que-e-um-alto-forno.html>.
- Mista, C. -A. (2012). Nº27, Setembro. *Revista Metálica*.
- Modenesi, P. J. (2012). *Introdução à metalurgia da soldagem*. Belo Horizonte: Universidade federal minas gerais.
- Montinni, D. (2012). *Produção de Aço*. <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABL5EAK/producao-aco>.
- Nanosteel. (2012). *Revestimentos Metálicos de Proteção ao Fogo*. Nanosteel.
- NP EN ISO 12944. (1999). *Proteção Anticorrosiva de estruturas de Aço*.



- Org, I. (2017). ISO. <https://www.iso.org/about-us.html>.
- Pereira, C. M. (2016). *Reconstrução do Edifício BBC*. Lisboa: Instituto Superior De Engenharia De Lisboa.
- Pinho, M. O. (2005). *Manual de Construção em Aço*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Siderurgia / Centro Brasileiro da Construção em Aço.
- Pinto, A. R. (2010). *Estabilidade Local de Perfis de Aço Enformados a*. Lisboa: Instituto Superior Técnico.
- Ponte, D. H. (2003). *FUNDAMENTOS DA CORROSÃO - ELETROQUÍMICA APLICADA E CORROSÃO*. Curitiba: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ.
- Qualidade, I. -I. (n.d.). *NP EN 1090-2*.
- Qualidade, I. P. (2004). *NP EN 10025*. Instituto Português da Qualidade.
- Qualidade, I. P. (2017). Sistema Português da Qualidade. <http://www1.ipq.pt/PT/SPQ/Pages/SPQ.aspx>.
- Rodrigues, P. (2010). Protecção de estruturas metálicas - aço. *Revestimentos por pintura*. LNEC.
- Santos, T. G. (2015). *Ensaaios Não Destrutivos Introdução*. Instituto de Soldadura e Qualidade.
- Schmitzhaus, F. (2015, Abril 27). Perfis estruturais de aço. <http://felipeschmitzhaus.blogspot.pt/2015/04/perfis-estruturais-de-aco-o-que-e-um.html>.
- Schug, T. (2016). *Probiomass Project*. Shuangliang Clyde Bergerman GmbH.
- Schulz, M. (2013). *TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE EPINTURA EM ESTRUTURAS DE AÇO*. Universidade Federal Fluminense.
- Shuangliang Clyde Berger GmbH. (2016). *Steel Structure Quality Control Plan*. Shuangliang Clyde Berger GmbH.
- Siderurgia, I. B. (2007). *Ferro(Fe)*. <https://www.coladaweb.com/quimica/elementos-quimicos/ferro>.
- Silva, F. J. (2016). *Tecnologia de Soldadura*. Porto: Publicações Edições Técnicas.
- Silva, L. S. (2011). *Construção Metálica e Mista: . actas / do congresso de Construção Metálica e Mista*. Associação Portuguesa de Construção Metálica e Mista.
- Silvestre, P. N. (2012). Características estruturais na marcação CE dos produtos do aço. *Revista Metálica N°24*, 29.
- Simões, R. A. (2014). *Dimensionamento de Estruturas Metálicas*. CMM - Construção Metálica e Mista.
- Standardization, I. O. (2014). *ISO 834 - Fire resistance tests*. International Organization of Standardization.



Especificidades da Fiscalização de Obras em Construção Metálica